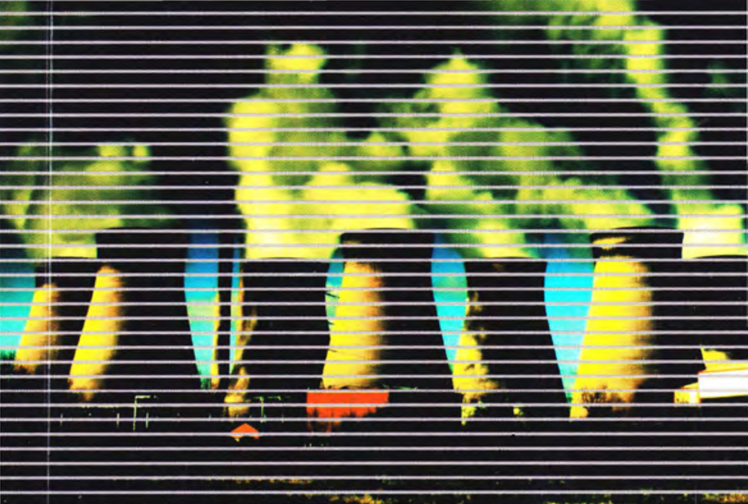


MARK MASLIN

KÜRESEL ISINMA

KÜLTÜR KİTAPLIĞI 104

DOST

KÜLTÜR KİTAPLIĞI: 104

D

Mark Maslin

University College London'daki Çevresel Değişim Araştırmaları Enstitüsü'nde araştırmacıdır.

Maslin, Mark
Küresel Isınma
ISBN 978-975-298-445-5 / Türkçesi: Sinem Gül
Ağustos 2011, Ankara, 200 sayfa
Kültür Kitaplığı: 104; Bilim: 4

KÜRESEL ISINMA

Mark Maslin

DOST

ISBN 978-975-298-445-5

Global Warming
Mark Maslin

Türkçesi, Sinem Gül

Teknik hazırlık, Mehmet Dirican

Baskı, Pelin Ofset Ltd. Şti.; İvedik Organize Sanayi Bölgesi,
Matbaacılar Sitesi 588. Sokak no: 28-30 Yenimahalle / Ankara
Tel: (0.312) 395 25 80-81 • Faks: (0.312) 395 25 84

Dost Kitabevi Yayınları
Paris Cad. No: 76/7, Kavaklıdere 06680 Ankara
Tel: (0.312) 435 93 70 • Faks: (0.312) 435 79 02
www.dostyayinevi.com • bilgi@dostyayinevi.com

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR

Yazar şu kişilere teşekkürlerini bildirir: Yanımda oldukları için Johanna ve Alexandra Maslin'e; mükemmel editörlükleri ve kitabı en sonunda benden çekip almakta gösterdikleri beceri için Emma Simmons'la Marsha Filion'a; UCL Coğrafya Bölümü Çizim Dairesi'nden Catherine D'Alton'la Elanor McBay'e; bu tartışma konusundaki eleştirel görüşümü geliştirmeme yardımcı olan John Adams'a; içgörülü ve son derece yararlı incelemeleri için Richard Betts'le Eric Wolff'a ve iklimbilim, paleoiklimbilim, sosyal bilimler ve ekonomi alanlarından, iklim üzerindeki etkimizi anlamak ve öngörmek için çabalamayı sürdüren tüm çalışma arkadaşlarıma.

GİRİŞ

21. yüzyılın en tartışmalı bilimsel meselelerinden biri olan küresel ısınma, küresel toplumumuzun yapısına meydan okumaktadır. Burada karşılaştığımız sorun, küresel ısınmanın bilimsel bir konu olmakla kalmayıp ekonomiyi, sosyolojiyi, jeopolitiği, yerel siyasetleri ve bireylerin yaşam tarzı seçimlerini de ilgilendirmesidir. Küresel ısınmanın nedeni, fosil yakıt tüketimi ve ormansızlaşma sonucunda atmosferde karbondioksit gibi sera gazlarının oranının çok fazla yükselmesidir. Son yarım milyon yıldır, belki daha da uzun süredir atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunu zaten en yüksek düzeyine çıkarmış olduğumuzu gösteren kesin kanıtlar var. Bilim adamlarına göre bu durum, Yerküre'nin en azından son bin yıldır herhangi bir zamanda olduğundan daha hızlı ısınmasına yol açıyor. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC), yayınlanmış araştırmaların ayrıntılı inceleme ve analizlerini içeren 2.600 sayfalık son raporunda, küresel ısınma konusundaki bilimsel belirsizliklerin temelde çözümlenmiş olduğu belirtiliyor. Bu raporda, 20. yüzyılda küresel sıcaklıklarda 0.6^{0}C, deniz seviyesindeyse 20 cm düzeyinde bir yükselme görüldüğü yönünde kesin kanıtlar bulun-

duğu belirtiliyor. IPCC'nin sentez çalışmasında ayrıca, 2100 yılına gelindiğinde küresel sıcaklıklarda 1.4^{0}C ila 5.8^{0}C, deniz seviyesindeyse 20 cm ila 88 cm arasında bir yükselme yaşanabileceği öngörülüyor. Ayrıca, hava durumu modellerinde tahmin edilebilirlik azalacak ve fırtına, sel ve kuraklık gibi aşırı iklim olaylarının görülme sıklığı artacak.

Küresel ısınma hipotezi konusundaki çatışmaları çözmeyi amaçlayan bu kitabın, konuyla ilgili daha fazla çalışmanın okunması için bir teşvik oluşturmasını umuyoruz. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin açıklanmasıyla başlayan kitap, küresel ısınma hipotezinin nasıl gelişmiş olduğu konusunda bir özetle devam ediyor. Kitapta ayrıca, insanların küresel ısınma hakkındaki görüşlerinin neden böylesine aşırı uçlarda yer aldığı da araştırılıyor; insanların hem doğaya bakışlarını hem de kendi siyasi gündemlerini yansıtan görüşler bunlar.

Kitabın ikinci yarısında küresel ısınmanın zaten gerçekleşmiş olduğunu gösteren kanıtlar ve gelecekteki iklim değişikliğini öngörme bilimi inceleniyor. Küresel ısınmanın insan toplumu üzerinde yaratabileceği ve sağlık, tarım, ekonomi, su kaynakları, kıyı bölgeleri, fırtınalarla öteki aşırı düzeyde iklim olayları ve biyolojik çeşitlilik alanlarında görülecek şiddetli değişimleri de içeren, yıkıcı olabilecek etkileri inceleniyor. Bilim adamlarıyla sosyal bilimciler, bu alanların her birinde görülebilecek doğrudan etkiler konusunda tahminlerde bulunuyorlar; örneğin, 2025 yılına gelindiğinde 5 milyar insanın su sıkıntısı çekeceği öngörülüyor. Bu kitapta en önemli etkiler ve aralarından en kötülerini hafifletme planları tartışılıyor.

Küresel iklim sisteminin belki de bizim için hazırlamakta olduğu, gelecekteki iklim değişikliğini daha da ağırlaştıracak bazı olası sürprizler de var. Bunların arasında küresel derin okyanus dolaşımının değişerek Avrupa'yı arka arkaya aşırı soğuk kışlara sürüklemesi ya da deniz seviyesinde eşi görülmemiş, küresel bir yükselmeye yol açması olasılığı yer alıyor. Küresel ısınmanın Amazon yağmur ormanlarının geniş kesimlerinin yanmasına yol açarak atmosfere fazladan karbon ekleyebileceği ve böylece küresel ısınmanın daha da hızlanabileceği yönünde de tahminler var. Son olarak, okyanusların altında ölümcül bir tehlike pusuya yatmış bizi bekliyor: okyanusların yeterince ısınması durumunda serbest kalabilecek olan, muazzam metan rezervleri – ki bu da küresel ısınmayı hızlandıracaktır. Kitabın son bölümlerindeyse küresel siyaset ve küresel ısınmaya uyum sağlama yolları ele alınıyor. Fosil yakıt salımını önemli düzeyde azaltma maliyetinin kısa vadede çok yüksek olabileceğinin ve bu nedenle, küresel ekonominin esnekleşerek iklim değişikliğine uyum sağlaması gerekebileceğinin farkında olmalıyız. Ayrıca, küresel çevremizin hangi bölümlerinin korunmasına öncelik vereceğimizi de belirlemeliyiz. Dolayısıyla, küresel ısınma kuramı ulus-devlet ve küresel sorumluluk çatışması konusundaki mevcut kavramlarımızı ve siyasi liderlerimizin kısa vadeli bakış açılarını sorguluyor; küresel ısınmayla başa çıkmak istiyorsak, bunların her ikisi de etkin bir biçimde ele alınmalı. Sakın yanılsamaya kapılmayın: küresel ısınmanın ciddiye alınmaması durumunda en çok zarar görenler her zamanki gibi, küresel topluluğumuzun en yoksul halkları olacak.

I. Bölüm

KÜRESEL ISINMA NEDİR?

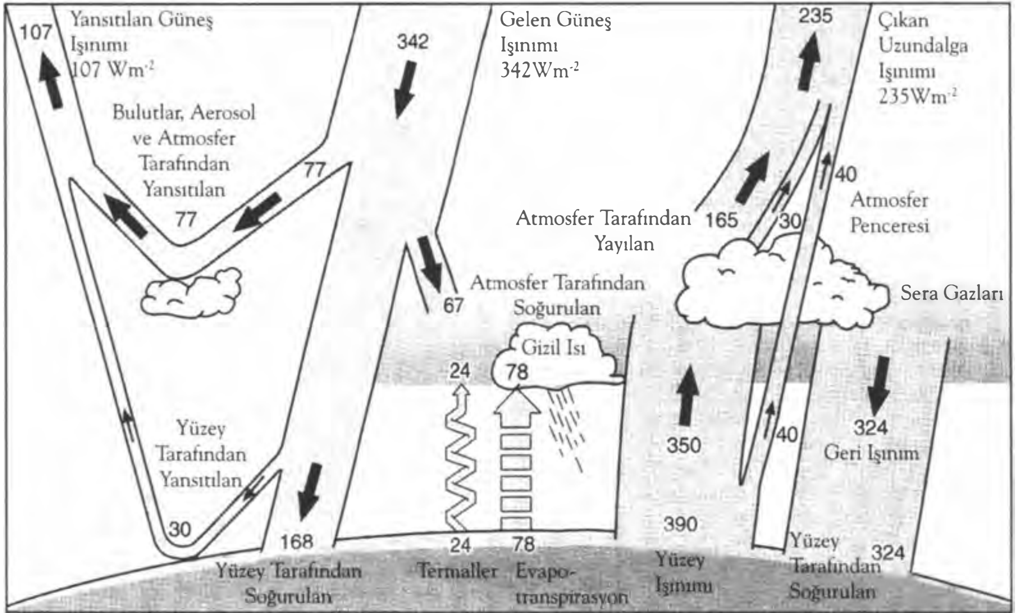
Yerküre'nin doğal serası

Yerküre'nin sıcaklığını, güneşten gelen enerji girdisiyle, bu enerjinin yeniden uzayda kaybolması arasındaki denge belirler. Bu sıcaklık dengesinde kritik önem taşıyan bazı atmosfer gazlarına sera gazları adı verilmektedir. Güneşten alınan enerji, kısa dalga ışınımı formundadır; yani görülebilir tayftadır ve morötesi ışınımdır. Ortalama olarak, Yerküre'ye ulaşan bu güneş ışınımının yaklaşık üçte biri yeniden uzaya yansır. Geriye kalan ışınımın bir kısmı atmosfer, ama çoğu karalar ve okyanuslar tarafından soğurulur. Yerküre yüzeyi ısınır ve bu nedenle, uzun dalga "kızılötesi" ışınımı yayar. Sera gazları bu uzun dalga ışınımının bir bölümünü tutup yeniden yayarak atmosferin ısınmasına neden olurlar. Doğal sera gazları arasında su buharı, karbondioksit, ozon, metan ve diazot monoksit yer alır; bu gazlar hep birlikte doğal bir sera ya da battaniye etkisi yaratarak, Yerküre'yi 35°C düzeyinde ısıtırlar. Grafiklerde

sera gazlarının genellikle tek bir katman olarak gösterilmesinin nedeni, yarattıkları "battaniye etkisi"ni belirtmektir, çünkü aslında tüm atmosferde birbirlerine karışmış halde bulunurlar (bkz. Şekil 1).

Yerküre'nin doğal "sera"sını anlamanın bir başka yolu, gezegenimizi en yakın iki komşusuyla karşılaştırmak olacaktır. Bir gezegenin iklimini belirleyen pek çok etmen vardır: kütlesi, güneşten uzaklığı ve elbette atmosferinin bileşimi, özellikle de sera gazı miktarı. Örneğin Mars gezegeni çok küçük olduğundan, kütleçekimi yoğun bir atmosferi koruyamayacak kadar düşüktür; atmosferi Yerküre atmosferinden yaklaşık yüz kat incedir ve temelde karbondioksitten oluşur. Mars'ın ortalama yüzey sıcaklığı yaklaşık -50°C düzeyinde olduğundan, mevcut olan az miktardaki karbondioksit yerde donmuş durumdadır. Venüs ise Yerküre'yle neredeyse aynı kütlededir, ama % 96 oranında karbondioksitten oluşan atmosferi çok daha yoğundur. Bu yüksek karbondioksit yüzdesi şiddetli bir küresel ısınma yarattığından, Venüs'ün yüzey sıcaklığı +460°C'nin üzerindedir.

Yerküre atmosferinin % 78'i azottan, % 21'i oksijenden ve % 1'i öteki gazlardan oluşur. Sera gazlarını da içerdiklerinden, biz bu öteki gazlarla ilgileniyoruz. En önemli iki sera gazı karbondioksitle su buharıdır. Şu anda karbondioksit atmosferin yalnızca % 0,03-0,04'ünü oluştururken, su buharının oranı % 0'la 2 arasında değişmektedir. Bu iki gazın ürettiği doğal sera etkisi olmasa, Yerküre'nin ortalama sıcaklığı yaklaşık -20°C düzeyinde olurdu. Gezegenimizi Mars ve Venüs'ün iklimleriyle karşılaştırdığımızda, atmosfer kalınlıklarındaki ve göreceli sera gazı oranların-



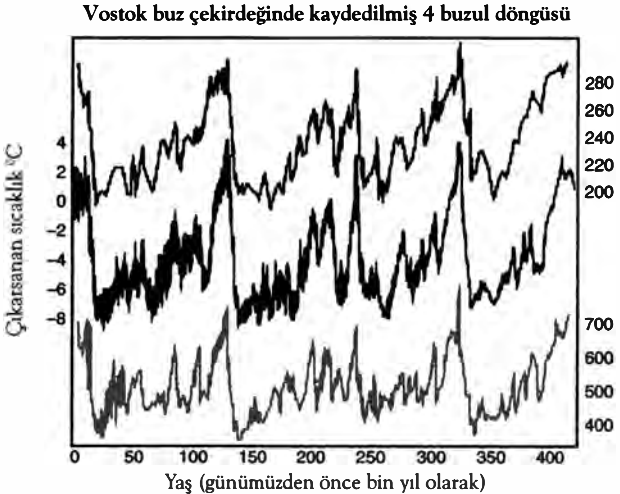
1.Yerküre'nin yıllık küresel ortalama enerji dengesi.

daki farklılık nedeniyle, aralarında çarpıcı bir tezat görürüz. Ama Yerküre'deki karbondioksit ve su buharı miktarı değişkenlik gösterebileceğinden, bu doğal sera etkisinin Mars ve Venüs'e kıyasla doğal olarak istikrarsız ve oldukça öngörülemez bir iklim sistemi yaratmış olduğunu biliyoruz.

Geçmiş dönemlerin iklimleri ve karbondioksitin rolü

Atmosferdeki karbondioksitin küresel iklimin belirlenmesinde önemli bir rol oynadığını anlamamızı sağlayacak yollardan biri, geçmiş dönemlerin iklimlerini incelemektir. Son iki buçuk milyon yıldır Yerküre iklimi, Kuzey Amerika ve Avrupa'da buz katmalarının kalınlığının 3 kilometreyi aştığı büyük buz çağlarıyla, günümüzdekinden bile ılıman iklim şartları arasında döngüsel olarak gidip gelmiştir. Milyonlarca yıllık bir dönemi kapsayan, kıtaların hareket etmesi gibi öteki coğrafi dönüşümlerle karşılaştırıldığında, bu değişimler son derece hızlıdır. Peki ama, bu uzun buz çağları ve karbondioksitin rolü hakkındaki bilgilerimizi nasıl ediniyoruz? Kanıtlar çoğunlukla, Antarktika ve Grönland'da delinerek incelenen buz çekirdeklerine dayanıyor. Yağarken hafif ve kabarık olan kar, bol miktarda hava içerir. Ama yavaş yavaş yoğunlaşıp buzu oluşturduğu sırada bu havanın bir bölümü içeride kalır. Bilim adamları eski çağlardan kalma buzların içine sıkışmış bu hava kabarcıklarını çıkararak, geçmişte atmosferde bulunan sera gazlarının oranını ölçebiliyorlar. Hem Grönland hem de Antarktika buz katmanlarında 3 kilometreyi aşan delgi-

ler açtılar ve böylece, son yarım milyon yılda atmosferde görülen sera gazı miktarını anlayabildiler. Buz çekirdeğindeki oksijen ve hidrojen izotoplarını inceleyerek buzun oluştuğu sıcaklığın tahmin edilmesi mümkündür. Sonuçlar son derece çarpıcı; son 400.000 yılda atmosferdeki karbondioksit ve metan gibi sera gazlarının sıcaklıkla birlikte değiştiği görülüyor (bkz. Şekil 2). Bu da, atmosferin karbondioksit içeriğiyle küresel sıcaklık arasında güçlü bir bağ olduğu görüşünü destekliyor; yani, karbondioksit ve metan düzeyi yükseldiğinde sıcaklığın da yükseldiği görülüyor. Geleceğin iklimi konusundaki en önemli kaygımız



2. Vostos buz çekirdeğinde kaydedilmiş olan, son dört buzul döngüsü sırasındaki sera gazları ve sıcaklıklar.

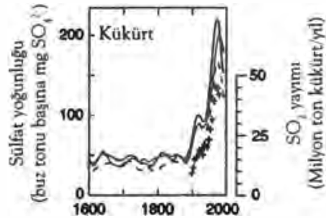
bu: sera gazı düzeyi yükselmeyi sürdürürse, atmosferimizin sıcaklığı da aynı şekilde yükselecek. Bu kitabın ilerleyen bölümlerinde de göreceğimiz gibi, geçmiş iklimlerin incelenmesi, gelecekte neler olabileceği konusunda pek çok ipucu sunmaktadır. Buz çekirdekleriyle göl ve derin su tortullarının incelenmesinden çıkan en kaygı verici sonuçlardan biri, geçmişte iklimin bölgesel düzeyde birkaç onyıl içinde en azından 5^0C değişmiş olmasıdır; bu da iklimin çizgisel olmayan bir yol izlediğine işaret eder. Bu nedenle, sera gazı düzeyi gelecekte bizim henüz bilmediğimiz bir tetikleme noktasına ulaştığında ani ve çarpıcı değişimler yaşanmasını bekleyebiliriz.

Sanayi döneminde atmosferdeki karbondioksit düzeyinde görülen artış

Küresel ısınma tartışmasında tüm taraflardan kabul gören ender görüşlerden biri, sanayi devriminin başlangıcından bu yana atmosferdeki karbon düzeyinin yükselmekte olduğu yönünde kesin kanıtlar bulunduğudur. Atmosferdeki karbondioksit yoğunluğuyla ilgili ilk ölçümler 1958'de, Hawaii'deki Mauna Loa dağının zirvesinde, yaklaşık 4.000 metrelik bir yükseklikte başladı. Ölçümlerin burada yapılmasının nedeni, yerel kirlilik kaynaklarından uzaklaşmaktı. Ölçümler atmosferdeki CO_2 yoğunluğunun 1958'den bu yana her yıl arttığını açıkça gösterdi. 1958'de hacme göre (ppmv) milyonda 316 parça civarında olan ortalama yoğunluk 1998'de yaklaşık 369 ppmv'ye yükseldi (bkz. Şekil 3). Mauna Loa gözlemevinde görülen yıllık

a) Birbirine karışmış üç sera gazının küresel atmosferdeki yoğunlukları

b) Grönland'daki buzlarda depolanmış sülfat aerosoller



3. Sanayi çağında insanın atmosfer bileşimi üzerindeki etkisine dair göstergeler.

farklılıklar temelde, büyümekte olan bitkilerin CO_2 alımına bağlı. Karbondioksit alımının en çok bahar döneminde kuzey yarıkürede yükseldiği görülüyor; bu nedenle her bahar atmosferdeki karbondioksit oranında bir düşüş gözleniyor, ama ne yazık ki bu düşüşün giderek daha yüksek değerlere yönelen genel eğilim üzerinde hiçbir etkisi olmuyor.

Mauna Loa gözlemevinde elde edilen bu karbondioksit verileri buz çekirdeklerinde sürdürülen ayrıntılı çalışmalarla birleştirilerek, sanayi devriminin başlangıcından bu yana atmosferdeki karbondioksitin eksiksiz bir kaydı üretilebiliyor. Bu da atmosferdeki CO^2'nin sanayi devri öncesindeki yaklaşık 280 ppmv düzeyinden şu anda 370 ppmv'ye yükseldiğini göstcriyor; 160 milyar tonluk, yani genelde % 30 düzeyinde bir artış bu. Bu artışı bağlamına oturtmak için, sıcaklıkların çok daha düşük olduğu son buz çağıyla sanayi devrimi öncesi dönem arasında oluşan değişime bakabiliriz. Buz çekirdeklerinden elde edilen kanıtlara göre, sanayi dönemi öncesindeki 280 ppmv'lik düzeye kıyasla buz çağındaki düzey yaklaşık 200 ppmv'ydi –160 milyar tonun üzerinde bir artış– ve bu da son 100 yıldır atmosfere eklediğimiz karbondioksit kirliliğiyle neredeyse aynı düzeyde. Dünyanın kendini son buz çağının pençesinden kurtarmasıyla birlikte bu karbondioksit artışına 6^0C düzeyinde bir küresel ısınma eşlik etti. Son buz çağının sona ermesinin temel nedeni Yerküre'nin güneş etrafındaki yörüngesindeki değişiklikler olsa da, geçmiş dönemlerin iklimlerini inceleyen bilim adamları, atmosferdeki karbondioksitin bu dışsal değişimleri buz çağlarının iniş çıkışlarına dönüştüren bir iklimsel etmen olarak

oynadığı merkezi rolü de keşfetmişlerdir. Bu durum, tek bir yüzyılda yol açtığımız kirlilik düzeyinin, gerçekleşmesi binlerce yıl sürmüş doğal değişimlerle kıyaslanabilir düzeyde olduğunu gösteriyor.

Sera gazı etkisinin artması

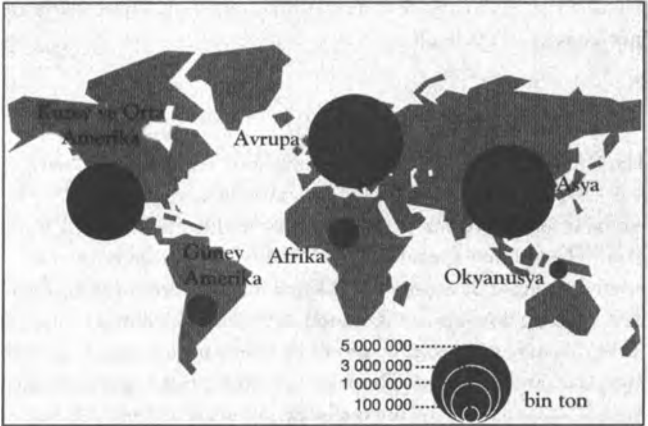
Küresel ısınma hipotezi konusundaki tartışma, atmosfere fazladan eklenen sera gazlarının doğal sera gazı etkisini artırıp artırmayacağı konusundadır. Küresel ısınmaya kuşkuyla bakanlar, atmosferdeki karbondioksit düzeyinin yükselmesine karşın, ya etkileri çok az olduğundan ya da yüksek düzeyde bir ısınmaya karşı etki gösterecck başka doğal etmenler bulunduğundan, bu yükselmenin küresel ısınmaya yol açmayacağını savunuyorlar. Bilim adamlarının çoğunun savunduğu görüş benimsenip fosil yakıt kullanımının ısınmaya neden olacağı kabul edilse bile, sıcaklıkların tam olarak ne kadar yükseleceği konusunda başka bir tartışma daha var. Ayrıca, küresel iklimin fazladan sera gazlarına çizgisel doğrultuda mı tepki vereceği, yoksa bizi bekleyen bir iklim eşiği mi olduğu da tartışılıyor. Bu konular kitabın ilerleyen bölümlerinde ele alınacak.

Kirliliğe ne yol açar?

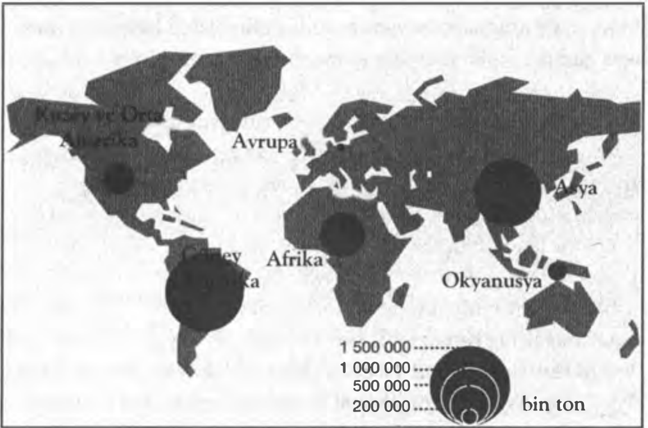
Küresel sera gazı salımının azaltılması konusunda ilk uluslararası anlaşmanın yapılması amacıyla Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi oluşturuldu.

Ama her ülkenin karbondioksit salımı aynı düzeyde olmadığından, bu iş ilk başta göründüğü kadar basit değil. Karbondioksit salımının önemli bir bölümü enerji üretimi, sanayi süreçleri ve ulaşım kaynaklı olduğundan, en önemli karbondioksit kaynağı fosil yakıt kullanımıdır. Sanayi dağılımının eşit olmaması nedeniyle, bu alanda tüm dünyada eşit bir dağılım görülmez; dolayısıyla, herhangi bir anlaşma bazı ülkelerin ekonomilerini ötekilere kıyasla daha fazla etkileyecektir. Sonuçta, karbondioksit salımını yılda yaklaşık 22 milyar ton karbon düzeyine indirmenin temel sorumluluğunu şu anda sanayileşmiş ülkeler üstlenmek zorunda (bkz. Şekil 4a). Tüm dünyada sanayide üretilen karbondioksitin % 90'dan fazlası Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya kaynaklıdır. Üstelik, tarihsel olarak bakıldığında da daha az gelişmiş ülkelere kıyasla daha fazla salım üretmiş oldukları görülmektedir.

Karbondioksit salımının ikinci önemli kaynağı, toprak kullanımındaki değişimlerin sonucudur. Bu salımların temel kaynağı tarım, kentleşme ve yol yapımı gibi nedenlerden ötürü ormanların kesilmesidir. Geniş yağmur ormanı alanları kesilerek yok edildiğinde toprak genellikle, karbondioksit depolama kapasitesi daha az olan, verimliliği düşük çayırlara dönüşür. Burada karbondioksit salımı modeli farklıdır; günümüzdeki toprak kullanımı değişiklikleri kaynaklı salımların % 90'dan fazlasından Güney Amerika, Asya ve Afrika sorumludur ve bu da yılda yaklaşık 4 milyon ton karbona denk gelmektedir (bkz. Şekil 4b). Ama 20. yüzyıl başına gelindiğinde Kuzey Amerika ve Avrupa'nın doğal manzaralarını zaten değiştirmiş oldukları yönündeki tarihsel gerçek de göz önüne alınmalıdır. Ser-



4a. Sanayi süreçlerine dayalı CO^2 salımı.



4b. Toprak kullanımındaki değişimlere dayalı CO^2 salımı.

best kalan karbondioksit miktarı açısından sanayi süreçleri hâlâ, toprak kullanımındaki değişikliklere büyük oranda baskın gelmektedir.

Öyleyse, atmosferdeki bu karbondioksit artışından sorumlu kötü adamlar kimlerdir? Elbette, tarihsel olarak antropojenik (insan kaynaklı) sera gazı salımının çoğundan sorumlu olan gelişmiş ülkeler; ne de olsa, 1700'lerin ikinci yarısındaki sanayi devriminin başından bu yana sera gazı salıyorlar. Üstelik, olgun bir sanayileşmiş ekonomi yüksek düzeyde enerjiye ihtiyaç duyar ve çok miktarda fosil yakıt tüketir. Süregiden tartışmanın en önemli meselelerinden biri, sorumluluğun paylaşılmasıdır. Sanayileşmemiş ülkeler halklarının yaşam standartlarını yükseltmek için çabalıyor ve ekonomik kalkınma enerji üretimiyle yakından bağlantılı olduğundan, sera gazı salımlarını da yükseltiyorlar. Bu nedenle, sanayileşmiş ülkelerde salımın azaltılması yönündeki çabalara rağmen, karbondioksit hacmi büyük olasılıkla artacak. Örneğin, dünyanın ikinci yüksek karbondioksit salım oranı Çin'de görülüyor. Ama kişi başına düşen miktarlara bakıldığında Çin'in salımının, listenin en tepesinde yer alan ABD'ye kıyasla on kat düşük olduğu görülüyor. Yani ABD'de her insan, Çinlilere kıyasla on kat daha fazla karbondioksit üretiyor. Bu nedenle 1992'deki Rio Dünya Zirvesi'nden bu yana, salımların azaltılmasıyla ilgili uluslararası anlaşma taslaklarının tümünde, gelişmekte olan ülkelerin ekonomik kalkınmalarını haksız biçimde frenleyeceği düşünüldüğünden, ahlaki nedenlerden ötürü bu ülkeler anlaşmalara dahil edilmemiştir. Ne var ki, örneğin hem Çin hem de Hindistan hızla sanayileştiklerinden ve 2,3 milyarı aşan toplam nüfuslarıyla yüksek düzeyde kirli-

lik üreteceklerinden, çok önemli bir sorunla karşı karşıya kalıyoruz.

IPCC nedir?

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1988'de, küresel ısınma olasılığı konusundaki kaygılardan ötürü, Birleşmiş Milletler Çevre Paneli ve Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından oluşturuldu. IPCC'nin amacı bilimsel, çevresel ve sosyoekonomik etkiler ve tepki stratejileri de dahil olmak üzere iklim değişikliğinin çeşitli yönleri hakkındaki bilgi düzeyinin değerlendirilmesinin sürdürülmesidir. İklim değişikliği konusunda en yetkili bilimsel ve teknik ses olarak kabul edilen IPCC'nin değerlendirmelerinin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) ve Kyoto Protokolü'nün müzakerecileri üzerinde derin bir etkisi oldu. Kasım 2000'de Lahey'de ve Temmuz 2001'de Bonn'da gerçekleştirilen toplantılar, 1998'de Kyoto'da şekillendirilen Protokollerin onaylanması (yani yasallaşması) yönünde ikinci ve üçüncü girişimlerdi. Ne yazık ki Mart 2001'de Başkan Bush ABD'yi müzakerelerden çekti. Ama öteki 186 ülke Temmuz 2001'de dünyanın görmüş olduğu en geniş kapsamlı çevre antlaşmasını kabul ederek tarih yazdılar. Ancak Kyoto Protokolü hâlâ onaylanmayı bekliyor. Bunun için gerekli olan şartlar 8. Bölüm'de tartışılacak.

IPCC üç çalışma grubu ve ayrıca, her ülkenin ürettiği sera gazı miktarını ölçme amaçlı bir özel görev ekibi biçiminde örgütlenmiştir. Bu dört organın her birinin (biri ge-

lişmiş, öteki gelişmekte olan bir ülkeden) iki ortak başkanı ve bir teknik destek birimi bulunuyor. I. Çalışma Grubu iklim sisteminin ve iklim değişikliğinin bilimsel yönlerini değerlendiriyor; II. Çalışma Grubu insani sistemlerle doğal sistemlerin iklim değişikliği karşısındaki hassasiyetlerini, iklim değişikliğinin olumlu ve olumsuz sonuçlarını ve bu sonuçlara uyum sağlanmasında başvurulabilecek seçenekleri ele alıyor; III. Çalışma Grubu ise sera gazı salımını sınırlama ve iklim değişikliğini başka şekillerde hafifletme seçeneklerini ve ayrıca, ekonomik meseleleri değerlendiriyor. IPCC böylece, risklerin değerlendirilmesi ve küresel iklim değişikliğine karşı bir tepki oluşturulması konusunda ülke yönetimlerine bilimsel, teknik ve sosyoekonomik bilgi de sağlıyor. Bu üç çalışma grubunun son raporları 2001'de yayınlandı; IPCC raporlarının taslaklarının hazırlanması, düzeltilmesi ve son haline getirilmesi çalışmalarına yaklaşık 120 ülkeden 400 uzman doğrudan katılırken, 2.500 uzman da gözden geçirme sürecine katkıda bulundu. IPCC raporlarının yazarları her zaman hükümetlerle, sivil toplum kuruluşları da dahil olmak üzere uluslararası örgütler tarafından aday gösteriliyor. Küresel ısınma konusuyla ilgilenen herkes için temel okuma malzemesini oluşturan bu raporlar Ek Kaynaklar bölümünde verilmiştir.

IPCC ayrıca, başlıca sera gazlarıyla ilgili araştırmaları derliyor: bu gazların kaynaklarını ve ısınmaya yol açma potansiyelleri konusundaki mevcut konsensüsü (bkz. aşağısı). Isınmaya yol açma potansiyeli, bu potansiyeli bir birim düzeyinde belirlenmiş olan karbondioksitle kıyaslanarak hesaplanıyor. Böylece farklı sera fazları birbirleriyle mutlak terimler yerine göreceli olarak karşılaştırılabiliyor. Küresel

Isınmaya Yol Açma potansiyeli 20 ve 100 yıllık dönemler üzerinden hesaplanıyor. Bunun nedeni, atmosferde çözünme ya da okyanus veya kara biyosferi tarafından emilme zamanlarının farklı olması yüzünden sera gazlarının atmosferde kalma sürelerinin de farklı olmasıdır. Öteki sera gazlarının çoğu atmosferin ısınmasında karbondioksitten daha etkilidir, ama atmosferdeki yoğunlukları hâlâ çok düşük düzeyde. 1. Tablo'da da görebileceğiniz gibi, kütle birimi üzerinden karşılaştırıldığında karbondioksitten çok daha tehlikeli olan başka sera gazları var, ama bunların atmosferdeki yoğunlukları çok düşük ve dolayısıyla, küresel ısınma tartışması hâlâ daha çok atmosferdeki karbondioksitin rolü ve kontrol altına alınması üzerinde yoğunlaşıyor.

İklim değişikliği nedir?

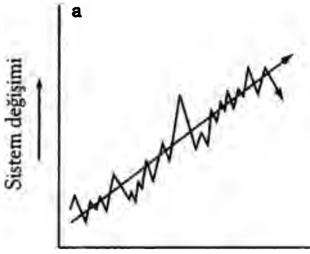
Bilim adamlarının pek çoğu, insan kaynaklı ya da insanın artırdığı sera etkisinin yakın gelecekte iklim değişikliğine yol açacağına inanmaktadır. Küresel ısınmaya kuşkuyla bakanların bazıları küresel ısınmanın küçük bir etki olacağını savunsalar da, insani zaman ölçeklerinde doğal iklim değişikliği gerçekleşebilmektedir ve bizler bu duruma uyum sağlamaya hazır olmalıyız. Peki ama iklim değişikliği nedir ve nasıl gerçekleşir? İklim değişikliği çeşitli şekillerde, örneğin bölgesel ve küresel sıcaklıklardaki değişimlerle, yağış modellerinin değişmesiyle, buz katmanlarının genişlemesi ya da daralmasıyla ve deniz seviyesindeki değişimlerle ortaya çıkabilir. Bu bölgesel ve küresel iklim değişiklikleri, dışsal ve/veya içsel zorlama mekanizmala-

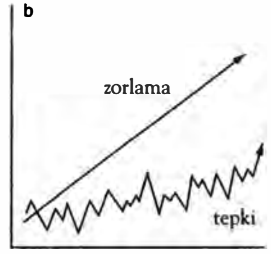
1. Tablo: Başlıca sera gazları ve göreceli atmosferi ısıtma kapasiteleri.

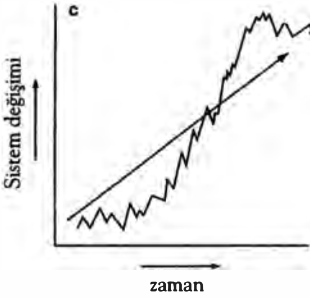
Sera Gazı	Kimyasal formül	Sanayi öncesi yoğunluk	1994'teki yoğunluk	İnsani kaynak	Küresel ısınma potansiyeli 20 yıl	Küresel ısınma potansiyeli 100 yıl
Karbondioksit	CO^2	278 ppmv	358 ppmv (%30 artış)	Fosil yakıt kullanımı Toprak kullanımındaki değişimler Çimento üretimi	1	1
Metan	CH_4	700 ppbv	1721 ppbv (%240 artış)	Fosil yakıtlar Pirinç tarlaları Çöplükler Çiftlik hayvanları	62	23
Diazot monoksit	N_2O	275 ppbv	311 ppbv (% 15 artış)	Gübre Sanayi süreçleri Fosil yakıt kullanımı	275	296

CFC-12	CCl_2F_2	0 Doğada bulunmaz, insan tarafından üretilir	0,503 ppbv	Sıvı soğutucular/ köpükler	6200	7100
HCFC-22	$CHClF_2$	0 Doğada bulunmaz, insan tarafından üretilir	0,105 ppbv	Sıvı soğutucular	1300	1400
Tetraflormetan	CF_4	0 Doğada bulunmaz, insan tarafından üretilir	0,070 ppbv	Alüminyum üretimi	3900	5700
Sülfür hekzaflorür	SF_6	0 Doğada bulunmaz, insan tarafından üretilir	0,032 ppbv	Yalıtkan sıvı	15.100	22.200

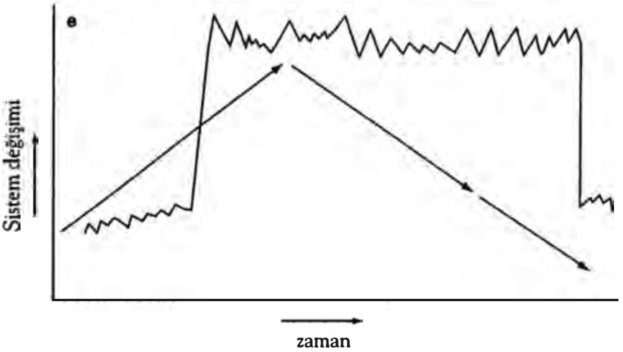
ppmv: hacim olarak milyon başına düşen parça
ppbv: hacim olarak milyar başına düşen parça











5. Çizgisel bir zorlamaya karşı oluşabilecek iklim sistemi tepkileri.

rına karşı tepkilerdir. İçsel zorlama mekanizmasına verilebilecek örneklerden biri, sera gazı etkisini düzenleyen atmosferdeki karbondioksit içeriğindeki farklılaşmalardır; Yerküre'nin güneş etrafındaki yörüngesindeki uzun vadeli farklılaşmaların Yerküre'ye gelen güneş ışınımının bölgesel dağılımının değiştirmesiyse iyi bir dışsal zorlama mekanizması örneğidir. Buz çağlarındaki şiddetlenme ve hafiflemenin nedeninin bu olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, küresel ısınmaya dair kanıtlar arar ve geleceğe dair tahminlerde bulunurken, tüm doğal dışsal ve içsel zorlama mekanizmalarını dikkate almalıyız. Örneğin 1970'lerde küresel düzeyde yaşanan soğumaya yakın zamanlara dek, güneşin enerji çıktısında her 11 yılda bir görülen "dışsal" ve döngüsel farklılaşmalar, yani güneş lekesi çevrimi dikkate alınana kadar açıklama getirilememişti.

Küresel iklim sisteminin içsel ya da dışsal bir zorlayıcı etmene nasıl tepki verdiğini farklı senaryoları inceleyerek de özetlemeye çalışabiliriz (bkz. Şekil 5). Bu senaryolarda, küresel iklimi değiştirmeye çalışan tek bir zorlayıcı mekanizma bulunduğunu varsayıyorum. Önemli olan, küresel iklim sisteminin nasıl tepki vereceği. Bu ilişki, örneğin bir arabayı yokuş yukarı itmeye çalışan ve tuhaftır ki pek az tepki alan bir insan gibi mi? Ya da daha çok, arabanın yokuş aşağı itilmesine mi benziyor; bu durumda araba bir kez hareket etmeye başladıktan sonra durdurulması çok güçtür. Dört olası ilişki bulunmaktadır ve küresel ısınma tartışmasında, gelecek için en çok önem taşıyan temel soru budur.

Doğrusal ve eşzamanlı tepki (Şekil 5a). Bu durumda zorlama iklim sisteminde, büyüklüğü zorlamayla orantılı

olan doğrudan bir tepki üretir. Küresel ısınma açısından baktığımızda, fazladan bir milyon ton karbondioksit belli bir tahmin edilebilir sıcaklık yükselişine neden olacaktır. Bu da bir arabayı düz yolda itmeye benzetilebilir: itmeye harcanan enerjinin çoğu, arabanın ileriye doğru hareket ettirilmesinde kullanılır.

Sessiz ya da kısıtlı tepki (Şekil 5b). Bu durumda zorlama güçlü olabilir, ama iklim sistemi bir şekilde korunmaktadır ve dolayısıyla, çok az tepki verir. Küresel ısınmaya kuşkuyla bakan kişilerin ve siyasetçilerin çoğu iklim sisteminin atmosferdeki karbondioksit düzeyindeki değişimlere karşı son derece duyarsız olduğunu ve bu nedenle, gelecekte pek az şey olacağını savunuyorlar. "Arabayı yokuş yukarı itme" benzetmesidir bu: arabayı itmek için istediğiniz kadar enerji harcayabilirsiniz, ama sonuçta fazla ileriye gidemeyecektir.

Ertelenmiş ya da doğrusal olmayan tepki (Şekil 5c). Bu durumda iklim sistemi bir şekilde korunması sayesinde zorlamaya karşı yavaş bir tepki gösterebilir. Bir başlangıç döneminden sonra iklim sistemi zorlamaya tepki verir, ama doğrusal bir tepki değildir bu. Bu seçenek küresel ısınma söz konusu olduğunda gerçek bir olasılıktır ve son 100 yıl içinde çok az miktarda ısınma yaşanmış olduğunun savunulmasının nedeni de budur. Bu senaryo, yokuşun tepesindeki arabaya benzetilebilir: arabanın yokuşun ucuna itilmesi için belli bir çabaya ve dolayısıyla zamana ihtiyaç vardır; tampon etkisidir bu. Araba kenara ulaştığında aşağıya itilmesi için çok az çaba gerekir ve bundan sonra, sizin yardımınız olsa da olmasa da, yokuş boyunca hızlanır. Dibe ulaştığında bir süre daha ilerlemeyi sürdürür (buna aşım

denir) ve sonra kendi doğasına göre yavaşlayarak, yeni bir duruma geçer.

Eşik tepkisi (Şekil 5d). Bu durumda başlangıçta iklim sistemi zorlamaya karşı çok az tepki verir ya da hiç tepki vermez; ancak tepkinin tamamı çok kısa bir süre içinde, tek bir büyük adımda ya da eşikte oluşur. Çoğu durumda tepki, zorlamanın boyutuna bakarak tahmin edeceğinizden çok daha fazladır ve buna tepki aşımı adı verilebilir. Eşiklerin modellenmesi ve dolayısıyla öngörülmesi çok zor olduğundan, bizi en çok kaygılandıran senaryo budur. Ne var ki geçmiş iklim değişiklikleri incelendiğinde eşiklerin son derece yaygın görüldüğü ve birkaç onyıl içerisinde 5^0C'yi aşan hızlı bölgesel iklim değişikliklerinin yaşanmış olduğu anlaşılmıştır. Bu senaryo, *İtalyan İşi* adlı filmin özgün çevriminin sonunda tepenin kenarında asılı kalan otobüsü hatırlatır; değişiklikler çok küçük düzeyde kaldığı sürece hiçbir şey olmaz. Ama kritik bir noktaya (bu durumda ağırlık) erişilir ve otobüs (ya da altın) tepeden, aşağıdaki koyağa düşer.

Küresel iklim sisteminin verebileceği tepkiler konusunda yalnızca kuramsal modeller belki bunlar, ama gelecekteki iklim değişikliğiyle ilgili olası senaryoları incelerken mutlaka akılda tutulmaları gerekir. Üstelik, 3. Bölüm'de farklı insanların aynı bilgilere erişebilmelerine rağmen küresel ısınma konusunda neden farklı gelecekler gördüklerini incelerken de önemli olacaklar. Her şey, yukarıdaki senaryolardan hangisinin gerçekleşeceğine inandıklarına bağlı. İklim değişikliğini değerlendirirken karşılaştığımız bir başka sorun da iklim eşiklerinin çatallanmalar içermesi olasılığıdır. Bu durumda, eşikten sonra bir yöne gidilmesi

için gereken zorlama, öteki yöne gidilmesi için gerekenden farklıdır (bkz. Şekil 5e). Bu da bir iklim eşiği aşıldığında durumu tersine çevirmenin çok daha güç olması anlamına gelir. Kuzey Atlantik'teki tatlı suyun küresel derin su dolaşımında yarattığı etkiyi taklit eden okyanus modelleri, iklim sisteminin çatallanmasına işaret etmektedir; içi kurtçuk dolu bu kavanozu 7. Bölüm'de ayrıntılı olarak tartışacağız.

Küresel ısınmayı iklim değişikliğiyle ilişkilendirmek

18. yüzyıldaki sanayi devriminden bu yana atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun yükseldiği yönünde kesin kanıtlar bulunduğunu gördük. Günümüzdeki bilimsel konsensüse göre, atmosferdeki sera gazı yoğunluklarında oluşan değişimler gerçekten de küresel sıcaklık değişimine yol açmaktadır. Ne var ki küresel ısınma hipotezindeki en büyük sorun, küresel iklimin atmosferdeki karbondioksit düzeylerinin yükselmesine ne derece duyarlı olduğunun anlaşılmasıdır. Bunu saptasak bile, bölgesel sıcaklık değişimleri, buzulların ve buz örtülerinin erimesi, göreceli deniz seviyesindeki değişim, yağışlardaki değişimler, fırtına şiddeti ve yolu, El Niño ve hatta okyanus dolaşımı gibi, atmosferin ısınmasına farklı tepkiler veren pek çok farklı etmeni kapsaması nedeniyle, iklim değişikliğinin öngörülmesi karmaşık bir iştir. Küresel iklim sisteminin her parçasının tepki zamanının farklı olması, küresel ısınmayla iklim değişikliği arasındaki bağı daha da karmaşıklaştırmaktadır. Örneğin, atmosfer dışsal ya da içsel değişimlere bir gün

içinde tepki verebilirken, derin okyanusların tepki vermesi onlarca yıl alabiliyor, bitki örtüsü ise yapısını (örneğin yaprak miktarını) birkaç hafta içinde değiştirebiliyor, ama bileşiminin (örneğin bitki tiplerinin değişmesi) değişmesi bir yüzyıl alabiliyor. Buna çevrimsel olabilecek doğal zorlama olasılığını da ekleyin; örneğin güneş lekesi çevrimlerinin iklimi hem on yıllık hem de yüzyıllık zaman ölçeklerinde etkileyebileceği yönünde sağlam kanıtlar bulunmaktadır. Şu andaki buzularası dönemimizin, yani son 10.000 yılın başından bu yana her 1.500 - + 500 yılda bir iklimde soğuma görüldüğü yönünde de kanıtlar bulunmaktadır; Küçük Buz Çağı bunlardan sonuncusuydu. 17. yüzyılda başlayan Küçük Buz Çağı 18. yüzyılda sona erdi ve Grönland sıcaklıklarında 0,5-1°C düzeyinde düşüşler, İzlanda etrafındaki akıntılarda önemli düzeyde değişiklikler görüldü, deniz yüzeyi sıcaklığı Batı Afrika kıyıları açıklarında 4°C, Bermuda Yükseltisi açıklarında 2°C düştü ve elbette, Londra'daki Thames Nehri'nde buz panayırları yapıldı; bunların hepsi doğal iklim değişikliğine bağlıydı. Bu nedenle, doğal iklim değişkenliğini küresel ısınmadan ayırmamız gerekiyor. İklim sisteminin farklı parçaları arasındaki etkileşimleri anlamalı ve hepsinin tepki zamanının farklı olduğunu akıldan çıkarmamalıyız. Ne tür iklim değişikliklerine neden olacağını ve bunun aşamalı mı yoksa felaket düzeyinde mi gerçekleşeceğini anlamaya çalışmalıyız. Ayrıca dünyanın farklı bölgelerinin nasıl etkileneceğini de anlamalıyız; örneğin, fazladan sera gazının kutupları tropiklerden daha fazla ısıtacağı öne sürülüyor. İklim sisteminin anlaşılmasıyla ve gelecekteki iklimin öngörülmesinin zorluğuyla ilgili tüm bu konuları 4. ve 5. Bölümlerde yeniden ele alacağız.

Yani bu kitabı ilk kez okuyorsanız ve temelde küresel ısınma bilimiyle ilgileniyorsanız, 4., 5., 6. ve 7. Bölümleri okumanızı önereceğim. Ama küresel ısınmanın toplumsal, tarihsel, ekonomik ve siyasi yönlerinin incelendiği 2., 3., 8. ve 9. Bölümleri de okumanızı tavsiye ederim. Ne de olsa, en azından bana göre, küresel ısınma yalnızca bilimsel bir sorun olarak görülemez; daha çok, küresel toplumumuzu ilgilendiren bir sorundur.

II. Bölüm

KÜRESEL ISINMA HİPOTEZİNİN KISA TARİHÇESİ

Tarihsel arka plan

Bilim adamları küresel ısınmanın önümüzdeki 100 yılda gezegenimizi 1,4 ila 5,8⁰C düzeyinde ısıtabileceğini ve bunun insanlık için büyük bir sorun olabileceğini tahmin ediyorlar. Böyle bir tehdit karşısında, küresel ısınma kuramının tarihinin ve bu kuramı destekleyen kanıtların anlaşılması büyük önem kazanıyor. Gelecek, bilim adamlarının öngördüğü kadar karanlık olabilir mi? Küresel ısınma kuramı ve olası etkileri konusundaki tüm bu tartışma, bilim adamlarının insanlığını ve yeni bilimsel fikirler siyasetini bilimde yaşanmış tüm çatışmalardan daha fazla gözler önüne seriyor. Bunun nedeni, Hollywood'un bilim adamı görüntüsü bir yana, bizlerin *Uzay Yolu*'ndaki Spock gibi mantıklı makineler ya da Doktor Frankenstein gibi çılgın bilim adamları değil, güçlü emelleri olan bireyler olmamız. Gerçi, *Yarından Sonra* adlı filmdeki kahraman

"paleoiklimbilimci" betimlemesinden çok hoşlandığımı itiraf etmeliyim; keşke gerçekten öyle olsaydık. Bilimin başlıca itici gücünün para olmadığı unutulmamalı; bu itici güç daha çok, hırs, ego ve ün olasılığıyla lekelenmiş bir meraktır. Yani, etrafındaki dünyadan uzaklaşmış bilim adamı imgesinden kendinizi lütfen kurtarın. Küresel ısınma hipotezinin tarihçesi, bilimin toplumdan ve toplumun bilimden derinden etkilendiğini açıkça gösterir. Temel küresel ısınma biliminin 50 yıl önce, Soğuk Savaş sırasında algılanan yerbilimleri gereksinimi uyarınca yürütüldüğünü, ama 1980'lerin sonuna dek bir kuram olarak ciddiye alınmadığını görüyoruz. Böylesine önemli bir gecikmenin neden yaşanmış olduğu konusunda sizlere belli bir içgörü sunabilmeyi umuyorum.

Küresel ısınmanın resmi olarak keşfedilmesinin üzerinden yüz yıldan fazla zaman geçti. 1896'da İsveçli bilim adamı Svante Arrhenius'un öncü çalışmaları ve ardından Thomas Chamberlin'in bağımsız doğrulamasıyla, insan faaliyetlerinin atmosfere karbondioksit ekleyerek Yerküre'yi önemli düzeyde ısıtabileceği hesaplandı. Bu sonuç, asıl amacı karbondioksitteki azalmanın büyük buz çağlarının nedenlerini açıklayacağı yönünde bir kuram geliştirmek olan başka bir araştırmanın yan ürünüydü; bu kuram günümüzde de geçerli, ama geçmişte küresel iklimin belirlenmesinde atmosferdeki karbondioksitin merkezi bir rol oynadığının doğrulanması için 1987'deki Antarktik Vostok buz çekirdeği sonuçlarının beklenmesi gerekti. Ne var ki başka kimse bu araştırma konusunu ele almadığından, hem Arrhenius hem de Chamberlin daha fazla ilgi çeken başka konulara yöneldiler. O dönemde bilim adamları gü-

neş lekelerinden okyanus dolaşımına dek küresel iklimi etkileyen başka pek çok etki olduğunu düşündüklerinden, küçük insani etkilerin kudretli gökbilim ve yerbilim güçlerine kıyasla önemsiz olduklarının düşünülmesiydi bu ilgisizliğin nedeni. 1940'larda gerçekleştirilen ve Yerküre'nin güneş etrafındaki yörüngesindeki değişikliklerin büyük buz çağlarının şiddetlenmesini ve hafiflemesini belirlediği kuramının geliştirildiği araştırmalar bu fikri daha da güçlendirdi. İkinci bir savunuya göreyse, okyanuslarda atmosferdekinin 50 katı karbondioksit bulunduğundan, "Deniz devasa bir dengeleyici işlevi görür" varsayımına ulaşıldı; diğer bir deyişle, okyanus kirliliğimizi silip süpürecekti.

Bu görüş ilk darbeyi 1940'larda, uzun dalga ışınımını ölçmekte kullanılan teknik olan kızılötesi spektroskopisinde önemli bir gelişme kaydedilmesiyle aldı. 1940'lara dek deneyler, Yerküre'nin yaydığı türde kızılötesi "uzun dalga" ışınımı iletimini karbondioksitin bloke ettiğini göstermişti. Ne var ki deneyler, karbondioksit miktarının iki katına çıkması ya da yarıya inmesi durumunda bu engellemede pek az değişim görüldüğünü gösterdi. Bu da az miktarda karbondioksitin bile ışınımı çok fazla bloke edebildiği ve bu nedenle, daha fazla gaz eklemenin çok az fark yarattığı anlamına geliyordu. Üstelik, karbondioksitten çok daha fazla miktarda olan su buharının da ışınımı aynı şekilde bloke ettiği görüldü ve dolayısıyla, daha önemli olduğu düşünüldü. İkinci Dünya Savaşı sırasında teknoloji çok ilerledi ve karbondioksitin ışınımı engellemesiyle ilgili ölçümler yeniden ele alındı. İlk deneylerde deniz seviyesi basıncı kullanılmıştı, ama seyrelmiş üst atmosfer basınçlarında genel soğurmanın oluşmadığı ve bu nedenle

ışınımın üst atmosferi aşıp uzaya geçebildiği anlaşıldı. Bu da karbondioksit miktarının artmasının daha fazla ışınımın soğurulması sonucunu verdiğini kanıtladı. Üstelik, su buharının karbondioksite kıyasla başka ışınım tiplerini de soğurduğu anlaşıldı ve stratosferin, yani üst atmosferin kupkuru olduğunun keşfedilmesi işleri daha da karıştırdı. Bu çalışma 1955'te, Gilbert Plass'in hesaplamalarıyla bir araya getirildi; Plass, atmosfere daha fazla karbondioksit eklenmesinin daha fazla kızılötesi ışınımını engelleyeceği ve uzayda kaybolmasını önleyerek gezegenin ısınmasına yol açacağı sonucuna varmıştı.

Ama insan üretimi fazladan karbondioksiti okyanusların emip yutacağı savunusu hâlâ ayaktaydı. 1950'lerde elde edilen ilk yeni kanıtlar, atmosferdeki bir karbondioksit molekülünün denizde dağılmadan önceki ortalama ömrünün yaklaşık on yıl olduğunu gösterdi. Okyanusların tersyüz olması yüzlerce yıl aldığından, fazladan karbondioksitin güvenle okyanuslarda saklı kalacağı varsayıldı. Ama (Kaliforniya'daki Scripps Oşinografi Enstitüsü'nün direktörü) Roger Revelle bir karbondioksit molekülünün on yıldan sonra emildiğini bilmenin yeterli olmadığını, bundan sonra bu moleküle ne olduğunun sorulması gerektiğini fark etti. Orada mı kalıyor, yoksa yeniden atmosfere mi yayılıyordu? Okyanuslar fazladan karbondioksitin ne kadarını tutabilirdi? Revelle'in hesaplamaları okyanus yüzeyi kimyasının son derece karmaşık olduğunu ve emdiği karbondioksitin büyük bölümünü geri verdiğini gösterdi. Büyük bir keşifti bu ve okyanus kimyasının tuhaflıkları yüzünden, okyanusların antropojenik karbondioksit için ilk başta sanıldığı gibi mükemmel bir fosseptik olamayacağı-

nı gösterdi. Bu ilke hâlâ geçerli, ama okyanusların her yıl emdiği antropojenik karbondioksit miktarı hâlâ tartışmalı. Bu miktarın 2 gigaton civarında, yani yıllık toplam insan kaynaklı üretimin yaklaşık üçte biri olduğu düşünülüyor.

Roger Revelle'in işe aldığı Charles Keeling, küresel ısınma tartışmasının bir sonraki önemli adımını attı. Keeling 1950'lerin sonlarında ve 1960'ların başlarında mevcut en modern teknolojiyi kullanarak Antarktika ve Mauna Loa'da atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunu ölçtü. Sonuçta ortaya çıkan Keeling CO_2 eğrileri 1958'deki ilk ölçümden bu yana her yıl uğursuzca tırmanmayı sürdürüyor ve küresel ısınmanın başlıca ikonlarından biri oldu.

Amerikan Fizik Enstitüsü'ndeki Fizik Tarihi Merkezi'nin direktörü Spencer Weart, atmosferdeki karbondioksitin artması ve olası küresel ısınmayla ilgili tüm bilimsel olguların 1950'lerin sonları-1960'ların başlarında derlenmiş olduğunu söylüyor. Küresel ısınma hakkında bu denli çok temel çalışmanın tamamlanabilmiş olmasının tek nedeninin, Soğuk Savaş ortamında fiziksel yerbilimlerine mali destek verilmesi olduğunu savunuyor. Gilbert Plass 1959'da *Scientific American*'da yayınlanan bir makalesinde, yüzyıl sonuna gelindiğinde dünya sıcaklığının 3°C artmış olacağını öne sürdü. Derginin editörleri makalenin yanında, fabrikalardan fışkıran kömür dumanlarının fotoğrafını yayınladılar; başlıkta, "İnsan her yıl atmosfere milyarlarca ton karbondioksit ekleyerek doğal süreçlerin dengesini bozuyor," yazıyordu. Bu haliyle, 1980'lerin sonlarından beri gördüğümüz binlerce dergi makalesine, televizyon haberine ve belgesele benziyordu. Öyleyse, küresel ısınma biliminin 1950'lerin sonlarıyla 1960'ların başlarında kabul

edilmesiyle, 1980'lerin sonlarında gerçek küresel ısınma tehdidinin aniden fark edilmesi arasında neden böylesine uzun bir gecikme yaşandı?

Küresel ısınmanın fark edilmesi neden bu kadar uzun sürdü?

Küresel ısınma tehdidinin fark edilmesindeki gecikmenin temel nedenleri, ilk olarak küresel ortalama sıcaklık veri kümesinin etkileyiciliği ve ikinci olarak, küresel çevre farkındalığının ortaya çıkmasına ihtiyaç olmasıydı. Küresel ortalama veri kümesi kara-hava ve deniz-yüzey sıcaklığı kullanılarak hesaplanır. 1940 ila 1970'lerin ortaları arasında küresel sıcaklık eğrisinde genel bir düşüş eğilimi görülmektedir. Bu da pek çok bilim adamını Yerküre'nin bir sonraki büyük buz çağına mı girmekte olduğunu tartışmaya yöneltmiştir. Bu korkunun oluşmasının nedeni biraz da, geçmişte küresel iklimin ne kadar değişken olduğu konusundaki farkındalığın 1970'lerde artmış olmasıydı. Yeni gelişmekte olan paleoşinografi (geçmişteki okyanusların incelenmesi) alanı, derin deniz tortullarına bakarak, son iki buçuk milyon yılda eskiden sanıldığı gibi dört değil, en azından 32 buzul-buzularası (soğuk-sıcak) çevrimi yaşandığını gösterdi. Bu çalışmaların zaman dağılımı düşük olduğundan, buz çağlarının ne hızla başlayıp bittiğinin tahmin edilmesi mümkün değildi, yalnızca ne sıklıkla olduğu tahmin edilebiliyordu. Bu durum pek çok bilim adamının ve medyanın 1950'lerin ve 1960'ların bilimsel keşiflerini küresel soğuma lehine göz ardı etmelerine yol açtı. Ponte'nin (1976) özetlediği gibi:

> 1940'lardan bu yana gezegenimizin kuzey yarısı hızla soğuyor. Daha şimdiden ABD'de görülen etki, dev ellerin her kenti alıp Kuzey Kutbu'na 100 milden fazla yaklaştırmasıyla aynı. Ulusal Bilimler Akademisi'nin 1975'teki uyarısına göre, bu soğuma devam ederse, bir sonraki Büyük Buz Çağı'nın başlamasına tanık olabiliriz. Aramızdan bazılarının, ABD'yle Avrupa'nın kuzey bölgelerinde karla kaplı devasa alanların tüm yıl boyunca erimeden kaldığını görecek kadar yaşaması mümkün. Yaşam süremiz içerisinde, hatta belki de on yıl içinde, kitlesel küresel açlıkla karşı karşıya kalmamız muhtemel. 1970'ten bu yana kuzey Afrika'da ve Asya'da yarım milyon insan, iklimin soğumasına bağlı seller ve kuraklıklar yüzünden açlık çekti.

Küresel soğuma senaryosu ancak 1980'li yılların başlarında, küresel yıllık ortalama sıcaklık eğrisinin tırmanışa geçmesinden sonra sorgulanmaya başlandı. 1980'lerin sonlarına gelindiğinde küresel yıllık ortalama sıcaklık eğrisi öylesine hızla yükselmişti ki, 1950'lerin sonlarıyla 1960'ların başlarından kalma bütün kanıtlara öncelik verildi ve küresel ısınma kuramı doruk dönemine ulaştı. Küresel ısınma kuramının sesi en çok duyulan savunucularından bazılarının aynı zamanda, buz çağının elinin kulağında olduğu konusunda kaygı yaşanmasından sorumlu kişiler olması ilgi çekicidir. Stephen Schneider 1976'da *The Genesis Strategy*'de, küresel soğuma eğiliminin başlamış olduğunu vurgulamıştı; şu anda ise küresel ısınma kuramının en önde gelen savunucularından biri. 1990'da, "değişim [ısınma] hızı öylesine yüksek ki, bu tür bir deği-

şimin ekosistemlerde felaket yaratabileceğini hiç tereddüt etmeden söyleyebilirim," dedi.

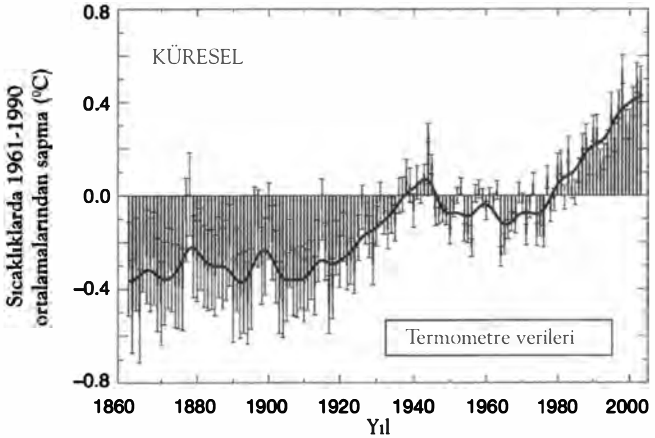
Bu isterinin sebebi ne? John Gribin (1989) *In Hothouse Earth: the Greenhouse Effect and Gaia* adlı kitabında bu değişimi çok güzel betimliyor.

> 1981'de bir adım gerileyip, 1880-1980 arasındaki kayıtlara rahat rahat bakmak mümkündü .... 1987'de rakamlar, temelde kayıtlara yarım onyıl daha eklemenin düzgün bir görüntü yaratacak olması nedeniyle, 1985'e göre güncellendi. Ama 1988 başlarına gelindiğinde bir yıllık verilerin bile Nisan ayında, yani son 1987 ölçümlerinin yapılmasından yalnızca dört ay sonra yeniden yayınlanması vc artık ulaşılmakta olan rekor sıcaklığın belirtilmesi gerekti. Burada bile Hansen'la [NASA'nın küresel sıcaklık eğilimlerini inceleyen ekibinin başındaki James Hansen] Lebedeff sera etkisiyle bağlantı kurmakta ihtiyatlı davranıp, bunun "bu bildirinin kapsamını aşan bir konu" olduğunu belirtmekle yetindiler. Ama 1987 verilerinin basılması için gereken dört ayda dünya yeniden değişti; yalnızca birkaç hafta sonra Hansen ABD Senatosu'na, 1988'in ilk beş ayının 1880'den bu yana karşılaştırma yapılabilecek her dönemden daha sıcak geçtiğini ve sera etkisinin karşımızda olduğunu söylüyordu.

Dolayısıyla, küresel ısınma meselesi, küresel ortalama sıcaklık verilerindeki tersine dönüşten güç bulmuş gibi görünüyor. Bu da kendi başına ilgi çekici, çünkü 1990'ların başlarında kimi bilim adamları, aşağıdaki nedenlerden ötürü bunun hatalı bir veri kümesi olduğuna inanıyorlardı:

1) kara izleme istasyonlarının pek çoğu sonradan kentsel alanlarla çevrelendi ve dolayısıyla, kentsel ısı adası etkisi yüzünden sıcaklık kayıtlarında yükselme oluştu; 2) gemilerin deniz suyu sıcaklığını ölçme yöntemlerinde bazı değişiklikler oldu; 3) 1970'lerdeki soğuma eğilimine yeterli açıklama getirilemedi; 4) uydu verileri 1970'lerle 1990'lar arasında bir sıcaklık eğilimi göstermedi ve 5) küresel ısınma modelleri son 100 yılda kuzey yarıkürede yaşanması gereken ısınma konusunda olduğundan yüksek tahminler verdi. 1990'ların başlarından bu yana, kentsel ısı adası ve deniz suyu sıcaklığı ölçümlerindeki değişimler de dikkate alınıyor. Artık, 1970'lerdeki soğuma eğiliminin güneş lekesi çevriminin onyıllık etkisine bağlı olduğunu biliyoruz. Uydu sonuçlarının bazı nedenlerden ötürü aldatıcı olduğu anlaşılıyor ve sistemin daha iyi anlaşılması ve verilerin yeniden ayarlanması sonucunda, önemli düzeyde bir ısınma eğilimi yaşandığı ortaya çıktı. Son olarak, kükürt dioksit aerosoller gibi öteki kirletici maddelerin gezegenin sanayi bölgelerini soğuttuğu ve 1990'ların başlarındaki modellerde bu durum dikkate alınmadığından, ısınma düzeyi konusunda olduğundan yüksek tahminde bulundukları anlaşıldı. Bu nedenle en son IPCC 2001 Bilim Raporu'nda çok geniş kapsamlı veri kümeleri gözden geçirilip birleştirildi ve bu rapor, sıcaklık verilerindeki eğilimin temelde doğru olduğunu ve bu ısınma eğiliminin günümüze dek kesintisiz devam ettiğini gösteriyor (bkz. Şekil 6). Hatta 1998'in tüm dünyada kayıtlara geçmiş en sıcak yıl olduğunu, en sıcak ikinci yılın 2002, üçüncü yılın 2003, dördüncü yılın 2001 ve beşin yılın 1997 olduğunu biliyoruz. Üstelik, kayıtlardaki en sıcak on yılın hepsi 1990'dan bu yana yaşandı.

Küresel ısınma meselesinin gündeme gelmesinin tek nedeni küresel yıllık ortalama sıcaklık verilerindeki tersine dönüş değildi. 1980'lerde geçmiş iklim değişiklerinin anlaşılması konusunda da yoğun bir çaba gösterilmekteydi. Derin deniz tortullarından ve buz çekirdeklerinden yüksek çözünülürlüklü geçmiş iklim kayıtlarının elde edilmesinde büyük ilerleme kaydedildi. Böylece, temelde buz örtülerinin oluşması çok uzun sürdüğünden ve doğal olarak istikrarsız olduklarından, buzul dönemlerinin, ya da buz çağlarının başlamasının on binlerce yıl aldığı anlaşıldı. Şu andaki gibi daha sıcak bir döneme ya da buzularası döneme geçilmesiyse aksine, jeolojik olarak son derece hızlı bir biçimde, birkaç bin yıl içinde gerçekleşiyor. Buz örtüleri bir kez erimeye başladığında, geniş buz örtülerini altını oyarak yok edebilecek dcniz scviycsinde yükselme gibi bir dizi etkinin süreci hızlandırmasıdır bunun nedeni. Paleoiklim topluluğu, küresel ısınmanın gerçekleşmesinin soğumaya kıyasla daha kolay ve hızlı olduğunun farkına vardı. Bu durum, bir sonraki buz çağının elinin kulağında olduğu efsanesinin de sonu oldu. Son iki buçuk milyon yılın buzul-buzularası dönemlerini Yerküre'nin güneş etrafındaki yörüngesindeki değişimin etkilemiş olduğu ortaya çıkarıldığından, antropojenik etkiler söz konusu olmazsa, bir sonraki buzul döneminin ne zaman başlayacağının tahmin edilmesi mümkün olacaktı. Belçika'daki Université catholique de Louvain'den Berger'la Loutre'un (2002) model tahminlerine göre, en azından daha 5.000 yıl boyunca yeni bir buz çağı yaşanması konusunda endişelenmemize gerek yok. Hatta, onların modelleri doğruysa ve atmosferdeki karbondioksit yoğunluğu ikiye katlanırsa, küresel ısınma bir sonraki buz çağını 45.000 yıl



6. Yerküre'nin yüzey sıcaklığındaki değişimler.

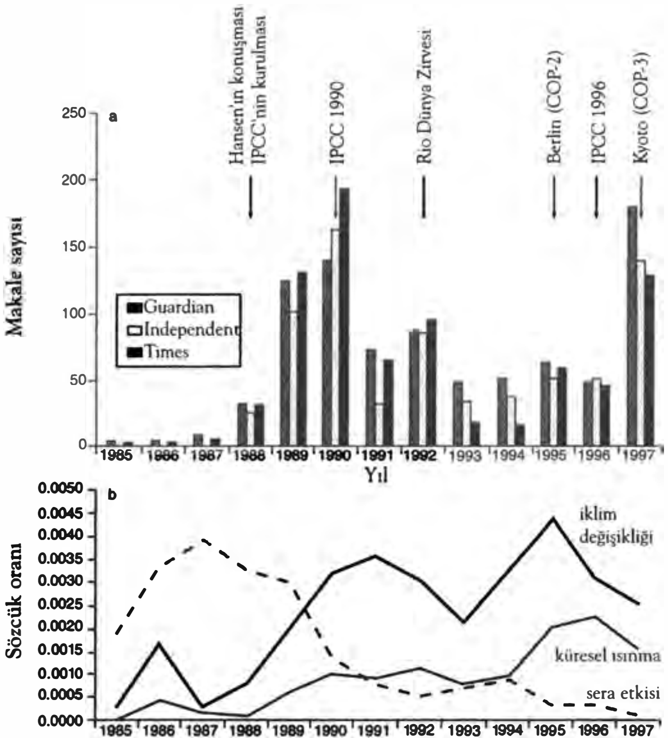
daha erteleyebilir. Paleoiklim çalışmaları bize, iklim sisteminin nasıl işlediği konusunda kaygı uyandırıcı içgörüler de sundu. Buz çekirdekleri ve derin deniz tortulları üzerinde gerçekleştirilen yakın tarihli çalışmalar, birkaç onyıl içinde en azından bölgesel düzeyde 5°C düzeyinde değişimler yaşanabileceğini gösteriyor. Geçmiş iklimlerin yeniden kurulması konusundaki bu çalışma görünüşe bakılırsa, küresel iklim sisteminin yumuşak huylu değil, aksine son derece dinamik ve hızlı değişimlere eğilimli olduğunu gösteriyor.

1980'lerde görülen bir sonraki değişim, kısmen 1980'lerin sağcı hükümetlerine ve tüketici ekonomisinin büyümesine karşı bir tepki olarak, kısmen de medyada yayınlanan çevre konulu haberlerin artması nedeniyle, özellikle de ABD, Kanada ve İngiltere'de çevre hareketinde taban-

dan gelen çok büyük bir güçlenme oldu. Yeni bir küresel çevre farkındalığının ve çokuluslu STK'ların (Sivil Toplum Kuruluşları) habercisiydi bu durum. Çevre bilincindeki bu güçlenmenin kökenleri, 1962'de Rachel Carson'ın *Silent Spring*'inin yayınlanması, 1969'da Yerküre'nin aydan görüntüsü, Roma Kulübü'nün 1972 tarihli *Limits to Growth* adlı raporu, 1979'daki Three Mile Adası nükleer reaktör kazası, 1986'da Çernobil'de yaşanan nükleer kaza ve 1989'daki *Exxon Valdez* petrol sızıntısı gibi bazı önemli dönemeçlere dayandırılabilir. Ama tüm bu çevre sorunlarının etkisi bölgesel düzeydeydi, yani coğrafi açıdan, gerçekleşmiş oldukları bölgeyle sınırlıydı.

Çevre konusundaki küresel bağlantılılığı ortaya çıkaran, 1985'te İngiliz Antarktika Araştırması'nın Antarktika üzerindeki ozon tahribatını keşfetmesi oldu. Ozon "deliği"nin kloroflorokarbon kullanımı gibi somut bir uluslararası nedeni de vardı ve bu da yepyeni bir siyaset alanı yarattı: uluslararası düzeyde çevre yönetimi. Bunu bir dizi önemli anlaşma izledi: 1985'teki Ozon Tabakasının Korunmasına Dair Viyana Sözleşmesi, 1987'deki Ozon Tabakasını İncelten Maddelere Dair Montreal Protokolü, 1990 Londra ve 1992 Kopenhag Protokol Düzeltme ve Değişiklikleri. Bunlar başarılı çevre diplomasisi örnekleri olarak gösterilmiştir. İklim değişikliği alanında uluslararası siyasette yaşanan değişim daha yavaş oldu; düzenleme ve yürürlüğe sokma açısından elde edilen başarıysa çok daha kısıtlı kaldı. En basit düzeyde bunun nedeni, bilimdeki büyük belirsizlikler ve yüksek ekonomik maliyetlerin söz konusu olmasıdır.

Küresel ısınma hipotezinin kabul görmesinin öteki nedeni, 1980'lerin sonlarında ve 1990'larda medyanın



7. Küresel ısınma ve medya.

bu konuya büyük bir ilgi göstermesiydi. Küresel ısınma hipotezinin medya için mükemmel bir konu olmasıydı bu ilginin nedeni: bizim bildiğimiz haliyle dünyanın sonuna dair çarpıcı bir öykü ve gerçek olup olmadığı konusunda

şiddetli bir çatışma. Şu anda Minho Üniversitesi'nde (Braga, Portekiz) çalışmakta olan Anabela Carvalho, 1985'le 1997 arasında nitelikli İngiliz basınının küresel ısınma meselesini işleyişi konusunda heyecan verici bir çalışma gerçekleştirdi. Özellikle *Guardian*'la *The Times* üzerinde yoğunlaştı ve bu dönem boyunca çok farklı dünya görüşlerini desteklediklerini gördü. İlginçtir ki, görüşlerinin farklı olmasına karşın, nitelikli (geniş kâğıda basılmış) İngiliz gazetelerinde her yıl yayınlanan yazı sayısı benzer bir model izliyor ve önemli IPCC raporlarının yayınlandığı ya da iklim değişikliği konulu uluslararası konferansların yapıldığı dönemlerde doruğa ulaşıyordu (bkz. Şekil 7). Ama küresel ısınma tartışmasının medyada nasıl çizildiğini gösteren, bu makalelerin doğasıdır. Küresel ısınma konulu yazıların en çok 1989, 1990 ve 1992 yıllarında yayınlandığı *The Times*, 1980'lerin sonlarından itibaren iklim değişikliği iddialarına kuşkuyla yaklaştı. Genelleme stratejileri, bilim topluluğu içindeki fikir uyuşmazlıklarının sergilenmesi ve en önemlisi bilim adamlarının ve bilimsel kurumların itibarlarına gölge düşürülmesi yoluyla, tekrar tekrar bilime karşı güvensizlik yayma girişimi gözlendi. 1990'ların büyük bölümü boyunca Amerikan medyasının büyük bölümü de benzer bir bakış açısı benimsedi. Hatta Amerikan medyasının bu yaklaşımının bilim adamlarıyla ABD halkı arasında bir duvar yarattığı öne sürülmüştür. İngiltere'de *Guardian* gazetesiyse *The Times*'ın tam tersi bir yaklaşım benimsedi. Tartışmanın teknik yönüne yer ayırmakla birlikte, çok geçmeden bilimsel iddiaları daha geniş bir bağlam içerisinde tartışmaya başladı. Sera etkisindeki güçlenme konusundaki bilimsel belirsizlik 1990'larda

azaldığından, *Guardian* bilime güven oluşturma stratejisi benimsedi ve bilginin güvenilirliğini artırma aracı olarak konsensüsü vurguladı. Bunun nedeni, *Guardian*'ın bilimin en önemli temellerinden birini anlayıp savunmasıydı: örneğin küresel ısınma gibi bir kuram ancak kanıtların ağırlığına göre kabul edilebilir ya da reddedilebilir. Bu nedenle, bilimin pek çok farklı alanında elde edilen veriler küresel ısınma kuramını desteklemeyi sürdürdüğünden, kurama duyduğumuz güven de aynı şekilde artmalıdır. *Guardian* bilimi "saf" ya da "doğru" olarak çizmek yerine, tüm bilimlerdeki içkin önyargıyı göstermek için siyasileştirdi. Bu da lobi baskılarının, özellikle de fosil yakıt sanayisiyle bağlantılı lobilerin baskısının iklim değişikliği iddialarının pek çoğunu yıprattığını açıkça gösterdi. Bilimin bu şekilde siyasileştirilmesi *Guardian*'ın, okurlarının bilime duydukları güveni güçlendirebilmesini sağladı. Dahası, küresel ısınma hipotezi biliminin içerdiği belirsizlikleri açıkça aktardı ve o zaman da şimdi de ihtiyat ilkesini savunmayı tercih etti. Bilim adamları bu medya süzgeci aracılığıyla, ya daha fazla araştırma yapılmasını talep ederek ya da belli siyasi seçenekleri savunarak, kendi küresel ısınma görüşlerini güçlendirmeye çalıştılar. 1980'lerin sonlarından itibaren bilim adamları medya gösterilerini sahnelemekte çok ustalaştılar; küresel ısınma hipotezinin genel kabul görmesinin biraz da bulgularını iletme çabalarını sürdürmelerinden kaynaklandığı çok açık. Hatta *The Times*'la *Guardian*'ın sırasıyla hem kuşkucu hem de destekleyici tutumları küresel ısınma tartışmasını öylesine meşrulaştırdı ki, halk bunun günlük bir haber konusu değil, toplumumuzun dokusu haline gelmiş bir şey olduğunun farkına varmaya başladı.

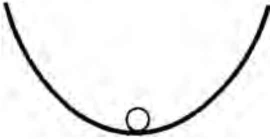
Görünüşe bakılırsa medya, sözcük kullanımımızı da etkiledi. 1988'den itibaren "küresel ısınma" ve "iklim değişikliği" terimlerinin kullanımı destek kazanırken, "sera etkisi" çekiciliğini kaybetti ve 1997'ye gelindiğinde çok ender adı geçmeye başladı. Terminolojideki değişim bu kitaba da yansıdı. Herkes anlamını bildiğinden kitabın adı *Küresel Isınma* ve bu kitaptaki başlıca tartışmalar, yol açabileceği iklim değişikliği hakkında.

Böylece 1) temelde 1960'ların ortalarında yürütülen küresel ısınma bilimini 2) 1980'lerin sonlarında küresel sıcaklık veri kümesinde görülen korkutucu tersine dönüşü 3) geçmişte iklimin atmosferdeki karbondioksit artışına nasıl tepki vermiş olduğu konusunda 1980'lerde artan bilgimizi 4) 1980'lerin sonlarında küresel çevre bilincinin ortaya çıkışını ve 5) medyanın bu tartışmanın çatışmalı yapısına gösterdiği vahşi ilgiyi birleştirdiğimizde, küresel ısınma hipotezini fark etmek zorunda kaldık. Bu da binlerce bilim adamının dikkatlerini, doğruluğunu ya da yanlışlığını kanıtlamak üzere bu soruna yöneltmeleri sonucunu verdi. O zamandan bu yana yaşanan dönüm noktaları şunlardır: Birleşmiş Milletler Çevre Paneli'yle Dünya Meteoroloji Örgütü'nün 1988'de Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ni (IPCC) kurmaları; 1990, 1996 ve 2001'de IPCC'nin çok önemli raporlar yayınlaması; 1992'deki Rio Dünya Zirvesi'nde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nin (UNFCCC) resmi olarak imzalanması; ardından 1998'de Kyoto'da gerçekleştirilen, UNFCCC Protokolleri'nin resmi olarak kabul edildiği Taraflar Konferansı (COP) ve sonra, Temmuz 2001'de Bonn'da "Kyoto" Protokolleri'nin 186 ülke tarafından kabul edilmesi.

III. Bölüm

GELECEĞİ SİZİN BAKIŞ AÇINIZ BELİRLER

Küresel ısınma hipotezini desteklemek amacıyla bu kadar bilimsel kanıt toplandığına göre, geleceğin bize neler getireceği konusunda neden hâlâ bu denli farklı fikirler var? Londra University College'dan Profesör John Adams bu soruna bakmanın ilgi çekici bir yolunu sunuyor bizlere. Her şeyin, bireylerin her birinin riski nasıl değerlendirdiğine, özellikle de "doğa"yı bir risk olarak nasıl değerlendirdiğimize bağlı olduğunu söylüyor. Doğanın yumuşak huylu olduğuna ve üzerine attığımız her şeyi alabileceğine mi inanıyoruz, yoksa onu kötü, müdahalelerimize acımasızca tepki gösterme gücüne sahip olarak mı düşünüyoruz? Douglas'la Wildavsky'nin (1983) kitaplarında sordukları ve yanıtladıkları gibi, "Şu anda ve gelecekte bizi bekleyen riskleri bilebilir miyiz? Hayır, bilemeyiz, ama evet, biliyormuş gibi davranmalıyız." Hepimiz, hem şimdi hem de gelecek için etrafımızda hangi risklerin olduğunu tahmin etmeliyiz. Yolda karşıdan karşıya geçme riskinden, küresel ısınma kaynaklı iklim değişikliğine dek her şey için geçerli



Yumuşak huylu doğa



Kısa ömürlü doğa



Aksi/hoşgörülü doğa



Kaprisli doğa

8. Dört doğa miti.

bu. "Dört doğa miti" ve "dört insan doğası miti" geliştiren John Adams, bireylerin riske ve belirsizliğe karşı gösterdikleri tepki aralığını incelemek üzere bunları birleştirdi (Adams, 1995). Burada, küresel ısınma meselesiyle daha doğrudan bağlantılı olmaları için biraz değiştirdim bu mitleri. Bunların, farklı insanların küresel ısınma hipotezini nasıl gördüklerini değerlendirmenin yollarından yalnızca biri olduğunu unutmayalım.

Adams (1995) Dört doğa miti olduğunu söylüyor; bunlar Şekil 8'de gösterilmiştir:

Yumuşak huylu doğa. Bu mite göre doğa öngörülebilir, cömert, sağlam, istikrarlı ve insan türünün hakaretlerine karşı bağışlayıcıdır. Top ne kadar şiddetli sarsılırsa sarsılsın sonunda çanağın dibinde durur. İnsan faaliyetleri bağla-

mında doğa yumuşak huyluysa, yönetim altına alınmasına gerek yoktur ve dolayısıyla, müdahaleci olmayan bir yaklaşım benimsenebilir.

Kısa ömürlü doğa. Doğa narin, güvenilmez ve kincidir. İnsan müdahaleleri yüzünden felaket düzeyinde bir çöküş yaşama tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu nedenle, çevre yönetiminin amacı doğayı insanlardan korumak olmalıdır. Bu mite göre insanlar Yerküre üzerinde dikkatle yürümelidirler ve kılavuz alınacak yönetim kuralı ihtiyattır.

Aksi/hoşgörülü doğa. İlk iki mitin bileşimidir bu. Belli sınırlar içerisinde, doğanın öngörülebilir şekilde tepki vereceğine güvenilebilir. Sistemin yaşayacağı hafif darbelere karşı bağışlayıcıdır, ama topu fincandan düşürmemeye dikkat edilmelidir. Büyük aşırılıkları önlemek için düzenlemelere ihtiyaç vardır, önemsiz konulardaysa sistem, kendi başının çaresine bakmaya bırakılmalıdır. Çevrebilimciler için karma ekonomi modeline denk bir yaklaşımdır bu. Yönetim tarzı müdahalecidir.

Kaprisli doğa. Doğa öngörülemezdir. Yönetim altına almanın bir anlamı olmayacağından, uygun yönetim tarzı “bırakınız-yapsınlar” olacaktır. Gelecek iyi de kötü olabileceğine, ama her halükârda insan tarafından kontrol altına alınması mümkün olmadığına göre, bu mite inanan kişi doğa konusunda agnostik bir tutum benimsemiştir.

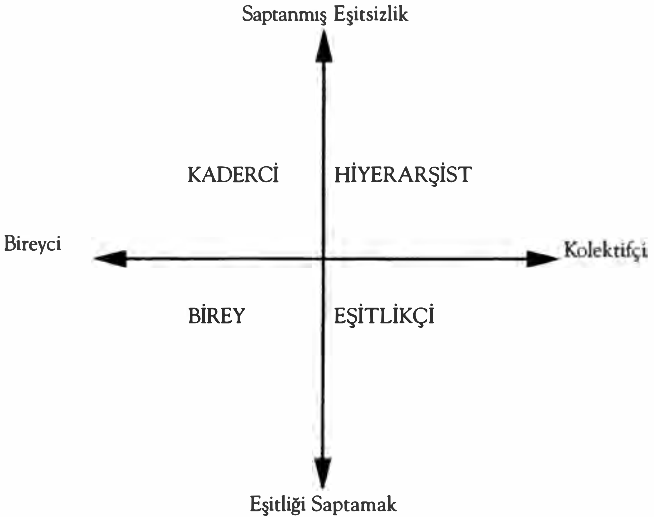
Bireyler bakış açılarını pek çok etmene dayandırırlar: kendi inanç sistemlerine, (mali ya da siyasi) kişisel gündemlerine ya da o dönemde inanılması uygun olan neyse

ona. Ama herkesin küresel ısınma hipotezi konusundaki görüşünün temelini, her birimizin dünyayı algılama biçimimiz belirler. Kültür coğrafyacıları ve sosyologlar bireysel inançlara bir ağ sistemiyle bakılmasını önermektedirler. Yatay eksende soldan sağa doğru, insan doğasının bireyselden daha kolektif bir bakış açısına nasıl değişebileceği gösterilmektedir; dikey eksendeyse en tepedeki, kişinin üstün bir otorite tarafından dayatıldığını hissettiği kısıtlama miktarının ölçeği olan "Saptanmış Eşitsizlik"ten aşağıya doğru farklılıklar gösterilmiştir; burada elbette, tüm toplumsal ve ekonomik işlemlerin karakteristik özelliğinin eşitsizlik olduğu varsayılmaktadır. Dipteki, "Eşitliği Saptamak" noktasındaysa seçimler üzerinde harici olarak saptanmış kısıtlamalar bulunmamaktadır ve insanlar kuralları yol boyunca müzakere ederler. Bu iki eksen birleştirildiğinde ortaya çıkan dört insan doğası miti, doğaya dair görüşlerimizle birleştirilebilir.

Bu ağla bağlantılı dört insan doğası miti Şekil 9'da gösterilmektedir.

Bireyciler başkalarının denetiminden görece özgür olan, çevreleri ve bu çevredeki insanlar üzerinde denetim sahibi olmaya çalışan, kendi çabalarıyla başarılı olmuş girişimci kişilerdir. Başarıları genellikle servetleriyle ve kaç kişiye buyruk verebildikleriyle ölçülür. Victoria çağının fabrika sahipleri ya da kendi çabalarıyla başarıya erişmiş petrol baronları bu kategorinin iyi temsilcileridir.

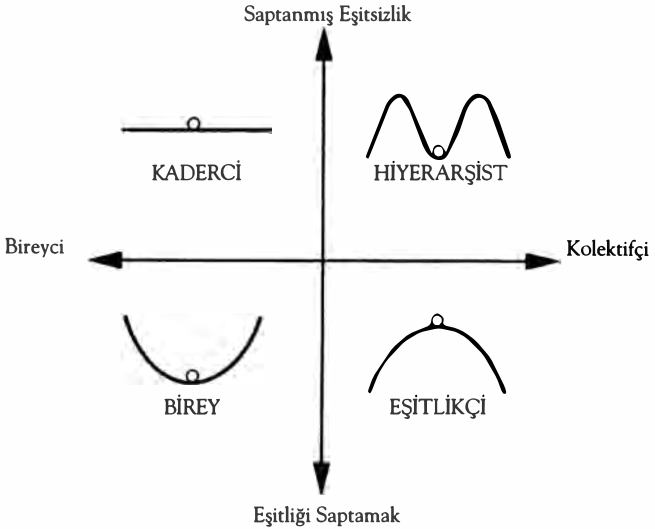
Hiyerarşistler güçlü grup sınırlarının ve bağlayıcı saptamaların bulunduğu bir dünyada yaşarlar. Bu dünyada



9. İnsan doğasına dair dört mit.

toplumsal ilişkiler hiyerarşiktir ve herkes kendi yerini bilir. Askerler, devlet memurları ve bazı bilim adamları bu kategorinin örnekleridir.

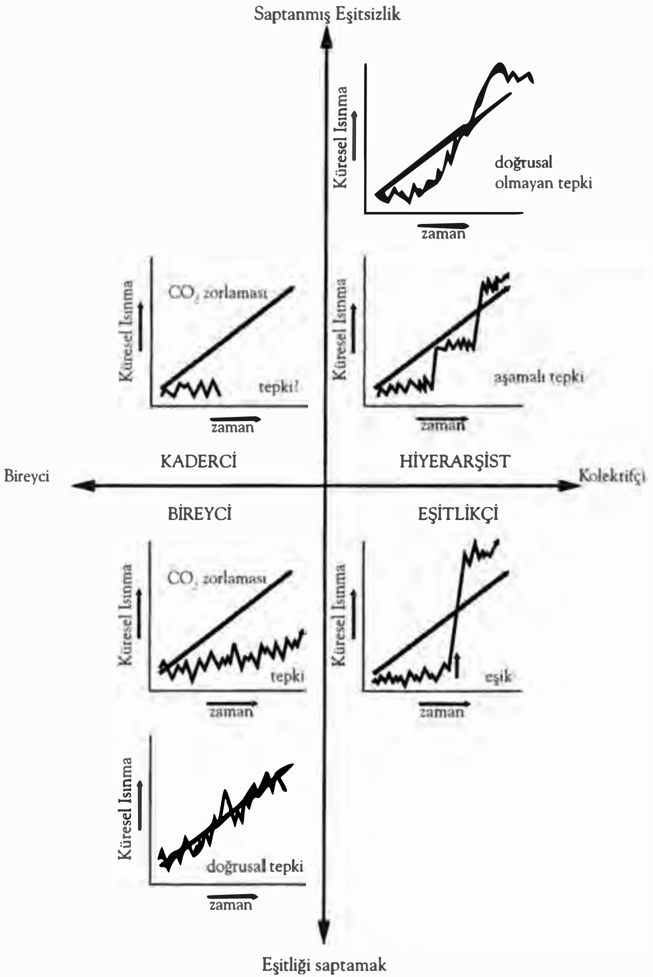
Eşitlikçilerde grup sadakati güçlüdür, ama doğanın dayattığı kurallar hariç, dışarıdan dayatılan kurallara fazla saygı duymazlar. Grup kararları demokratik yoldan alınır ve liderler kişiliklerinin gücü ve ikna yetenekleri sayesinde yönetirler. Çevre baskı grupları bu kategorinin klasik örneğidir.



10. Dört mantık.

Kadercilerin kendi yaşamları üzerindeki kontrolleri asgari düzeydedir. Yaşamlarına hükmeden kararlardan sorumlu herhangi bir grup içinde yer almazlar. Kendi kaderlerine ve başka herkesin kaderine teslim olmuşlardır ve kaderi değiştirmeye çalışmayı anlamsız bulurlar.

Bu iki mit kümesi birbiriyle ilişkilendirilerek, hangi tip insanın hangi doğa mitine inanabileceğinin açıklanmasında kullanılabilir (bkz. Şekil 10). Şekil 11'de, 1. Bölüm'de tartıştığımız, küresel ısınma sonucunda ortaya çıkabilecek iklim değişikliklerinden bazılarını bir araya getirdim. Şimdi eğlencesine, şu kişileri küresel ısınma inanç çizelgesine



11. İnsan doğasıyla birleştirilmiş küresel ısınma senaryoları.

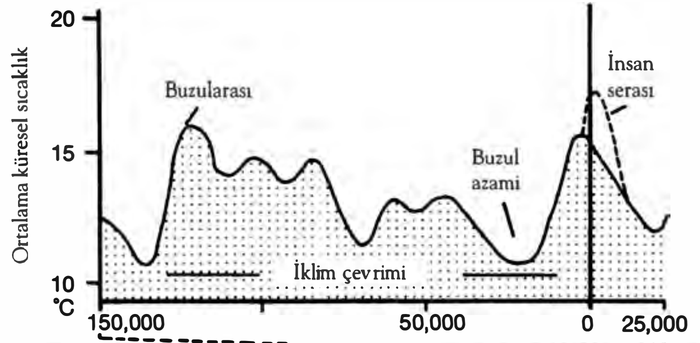
yerleştirin: kendiniz, Başkan George Bush, bir Greenpeace sözcüsü ve az gelişmiş bir ülkeden bir pamuk yetiştiricisi. Ayrıca, 8. Bölüm'de Kyoto Müzakerelerine katılan farklı grupları okuduğunuzda, küresel ısınma inanç çizelgesinde her bir grubun nerede yer alacağına bakmak ilginç olabilir. Küresel ısınmaya bu şekilde baktığımızda, küresel ısınma tehdidine inanmayanların çok geç olana dek belki de asla inanmayacak olmalarının bariz nedenleri bulunduğunu gösteriyor; doğa konusunda kendi bakış açıları var ve bu nedenle, gelecekte iklim değişimi yaşanması riskinin düşük olduğuna inanıyorlar. Özellikle de risk ya da belirsizlik söz konusu olduğunda bireylerin inançlarının son derece değişken olabileceğini de unutmamalıyız. Öne sürülen kanıtlara göre insanların fikirleri değişir. 1990'ların ortalarında gazetecilerin bana küresel ısınmanın gerçekleşmekte olup olmadığını ve kuramı savunmaya hazır olup olmayacağımı sormaları klasik bir örnekti; şimdiyse aksine, durumun ne kadar kötüye gideceğini soruyorlar. Bu kitabın geri kalan kısmında, inancınızı küresel ısınma inanç çizelgesinin sol tarafından sağ tarafına kaydırmaya çalışmayı umuyorum. Ya da çizelgenin zaten sağ tarafındaysanız, doğaya dair içgüdüsel bakış açınızın neden doğru olabileceğini göstermeyi.

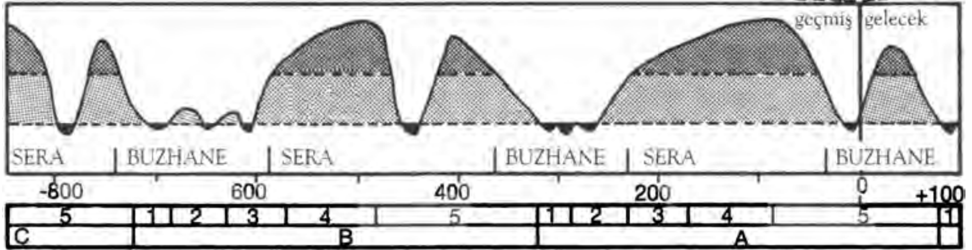
IV. Bölüm

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN KANITLARI NELERDİR?

Geçmişteki iklim değişikliği

Deniz ve göl tortulları, buz çekirdekleri, mağara birikintileri ve ağaç halkaları gibi bazı temel bilgi kaynakları kullanılarak, jeolojik geçmişte oluşmuş iklim değişikliği yeniden kurulmuştur. Bu kayıtlar, son 100 milyon yıldır Yerküre ikliminin soğumakta olduğunu ve dinozorların sıcak ve yumuşak hava şartlarının tadını çıkardığı Tebeşir (Kretase) döneminin "Sera Dünyası"ndan, günümüzün daha soğuk ve dinamik "Buzhane Dünyası"na doğru ilerlediğini gösteriyor (bkz. Şekil 12). Jeolojik terimlerle gezegenimizin görece soğuk olmasına rağmen bu kitabın küresel ısınma konusundaki büyük korkularımızı ele alması tuhaf görünebilir. Bunun nedeni, günümüzde bile hem Antarktika hem de Grönland'da devasa buz örtüleri ve Kuzey Buz Denizi'nde neredeyse kalıcı deniz buzu bulunmasıdır. Yani dinozorların yaşadığı ve devasa buz örtülerinin bulunmadığı döneme kıyasla soğuk bir zamanda yaşıyoruz.





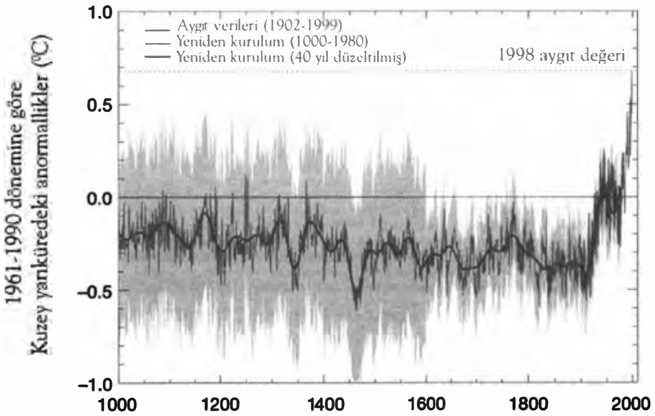
12. Geçmişteki iklim değişikliklerinin anatomisi.

Daha soğuk küresel iklim şartları yönündeki bu uzun vadeli, 100 milyon yıllık geçişi temelde, Antarktika'yı dünyanın geri kalan kısmından ayıran Drake Geçidi'nin ve Tasmanya-Antarktika Geçidi'nin açılışı, Himalayaların yükselişi ve Panama okyanus geçidinin kapanması gibi tektonik değişimler başlatmıştır. Son yüz milyon yıl içerisinde atmosferdeki karbondioksit düzeylerinin önemli derecede düştüğü yönünde de jeolojik kanıtlar bulunmaktadır. Bu değişimlerin sonucu 35 milyon yıl önce Antarktika'nın donması ve ardından, 2.5 milyon yıl önce başlayan büyük kuzey yarıküresi buz çağları oldu. Büyük kuzey buz çağlarının başlamasından bu yana küresel iklim, günümüzdekine benzeyen ya da hatta biraz daha sıcak şartlarla, Kuzey Amerika'nın büyük bölümüyle Avrupa'da 3 kilometre kalınlığında buz örtülerinin oluşmasına yol açmış şiddetli buz çağları arasında döngüsel olarak gidip gelmiştir. Bu buzul-buzularası çevrimleri 2,5 milyon yıl önceyle 0,9 milyon yıl önce arasında her 41.000 yılda, 0,9 milyon yıl öncesinden bu yana da her 100.000 yılda bir gerçekleşti. Büyük buz çağı çevrimlerinin ardındaki başlıca itici güç, Yerküre'nin güneşe göre yörüngesinde oluşan değişikliklerdir. Aslında dünya son 2,5 milyon yılın % 80'den fazla bir bölümünü şu andakinden daha soğuk şartlarda geçirdi. Şu andaki buzularası Holosen Dönemimiz yaklaşık 10.000 yıl önce başladı ve buz çağları arasında görülen ender sıcak iklim şartlarının bir örneği. Holosen, son buz çağının hızla ve çarpıcı bir biçimde son ermesiyle başladı; 4.000 yıldan az bir sürede küresel sıcaklıklar 6°C arttı, göreceli deniz seviyesi 120 metre yükseldi, atmosferdeki karbondioksit üçte bir oranında arttı ve atmosferdeki metan oranı ikiye katlandı.

Küresel ısınmayla ilgili bir kitapta şu anda jeolojik açıdan "Buzhane Dünyası"nda yaşadığımızın öne sürülmesi tuhaf görünebilir. Ama dünyanın ısınmasının sonuçlarına baktığımızda önemli bir nokta bu, çünkü görece sıcak bir buzulararası dönemde bulunmamıza rağmen her iki kutup da hâlâ donmuş durumda ve bu da gezegenimizin jeolojik tarihinde ender görülen bir olay. Antarktika'yla Grönland buz örtüleriyle kaplı ve Kuzey Buz Denizi'nin büyük bölümü deniz buzuyla örtülü. Bu da daha sıcak bir dünyada eriyebilecek çok fazla buz olduğu anlamına geliyor ve ileride göreceğimiz gibi, gelecekte gezegenimizi bekleyen en önemli bilinmezlerden biri. Buzla kaplı iki kutup aynı zamanda, kutuplarla Ekvator arasındaki sıcaklık gradyanının, yani farkının son derece yüksek olmasına yol açıyor: Ekvator'da ortalama +30°C'den, kutuplarda -35°C'ye, hatta daha düşük sıcaklıklara ulaşan bir fark bu. Tropiklerdeki fazla ısı hem okyanuslar hem de atmosfer tarafından kutuplara aktarıldığından ve bu şekilde hava şartları oluştuğundan, bir iklim sistemimiz olmasının başlıca nedenlerinden biri bu iklim gradyanıdır. Jeolojik açıdan şu anda en büyük Ekvator-kutup sıcaklığı gradyanlarından biriyle karşı karşıyayız ve bu da iklim sisteminin son derece dinamik olmasına yol açıyor. Yani "Buzhane" şartlarımız, karakteristik özelliği kasırgalar, tornadolar, tropikötesi (ılıman) kış fırtınaları ve musonlar olan enerjik hava durumu sistemimizi yaratıyor. James Lovelock "The Ages of Gaia" (Yeni baskı, 1995, s. 227) adlı kitabında buzularası dönemlerin, Holosen dönem gibi, son 2,5 milyon yıldır daha soğuk bir ortalama küresel sıcaklığı tercih ettiği açık olan gezegenimizin ateşi yükselmiş hali olduğunu öne

sürer. Lovelock küresel ısınmayı, insanlığın ateşi daha da kızıştırması olarak görmektedir.

Ama iklim bizim buzularası dönemimiz, yani son 10.000 yıl içerisinde sabit kalmadı. Paleoiklim kanıtları, Holosen başlarının 20. yüzyıldan daha sıcak olduğuna işaret ediyor. Holosen boyunca Dansgaard-Oeschger çevrimleri denen ve 2°C düzeyinde yerel soğuma içeren binyıl ölçekli iklim olayları yaşanmıştır. Bu olaylar klasik uygarlıkları derinden etkiledi; örneğin, yaklaşık 4.000 yıl önceki soğuk ve kurak dönem, Mısır'daki Eski Krallık gibi pek çok klasik uygarlığın çöküşüyle çakışmaktadır (bkz. 9. Bölüm'deki tartışma). Bu binyıllık iklim döngülerinin sonuncusu Küçük Buz Çağı'ydı. Bu olay aslında iki soğuk dönemden oluşur; bunlardan ilki, bin yıl önce sona eren Ortaçağ Sıcak Dönemi'ni izler ve genellikle Ortaçağ Soğuk Dönemi olarak anılır. Orta Çağ Soğuk Dönemi Grönland'daki İskandinav kolonilerinin yok olmasında rol oynadı ve Avrupa'da kıtlığa ve kitlesel göçlere neden oldu. İS 1200'den önce aşamalı olarak başlayan bu dönem, yaklaşık olarak İS 1650'de sona erdi. Daha çok Küçük Buz Çağı olarak bahsedilen ikinci soğuk dönem, buz çekirdeği ve derin deniz tortulları kayıtlarına bakılırsa, geç Holosen sırasında Kuzey Atlantik bölgesinde yaşanmış en hızlı ve büyük değişim olabilir. Son binyıl için oluşturulan sıcaklık kayıtları Küçük Buz Çağı'nı da içermektedir ve son iki yüzyılın önceki sekiz yüzyıldan çok farklı olduğunun gösterilmesinde temel bir veridir (Şekil 13). Son binyıl için kuzey yarıküresi sıcaklıklarının yeniden kurulmasında başlıca dört veri kümesinden yararlanılmıştır: ağaç halkaları, mercanlar, buz çekirdekleri ve/veya geçmiş sıcaklıkların



13. Son bin yıl için Kuzey yarıküre sıcaklıklarının yeniden kurulumu.

sondaj delikleri açılarak doğrudan ölçülmesi. İlk olarak, farklı veri kümelerinin birbirleriyle gayet iyi uyuştuğunu ve bunun da bu yeniden kurulumların gerçek sıcaklık değişimlerini gösterdiği inancını güçlendirdiğini belirtmeliyiz. İkinci olarak, veriler 1900'den önceki yüzyılların çok daha soğuk olduğuna işaret ediyor. Ayrıca Ortaçağ Sıcak Dönemi'nin ve Küçük Buz Çağı'nın gerçekten yaşandığını, ama kuzey Avrupa istisnası hariç kuzey yarıkürenin büyük bölümünde iklim değişikliklerinin küçük çaplı kaldığını da gösteriyorlar. Bu veriler olmadan, son 150 yıl için geçerli sıcaklık verileri kümesi bir bağlama oturtulamazdı. Şu anda en azından kuzey yarıküre için sıcaklıkların 20. yüzyılda, son bin yıl içindeki herhangi bir dönemden daha yüksek olduğu açıkça gösterilebilmektedir.

Yakın tarihli iklim değişikliği

Küresel ısınmaya dair başlıca üç gösterge sıcaklık, yağış ve deniz seviyesidir. Son yirmi yıldır bilim adamlarının başlıca amaçlarından biri, sanayi devriminden bu yana bunların nasıl değiştiğini tahmin etmek ve sorumlunun küresel ısınma olduğuna işaret eden herhangi bir kanıt bulunup bulunmadığını anlamak olmuştur. Aşağıda bu parametrelerin her biri için kanıtlar verilmektedir.

Sıcaklık

Daha önce de görmüş olduğumuz gibi, son binyılda kuzey yarıkürede görülmüş sıcaklıklar yeniden kurulmuş ve böylece, 20. yüzyıl için bir bağlam oluşturulabilmiştir. Son 150 yıl için sıcaklıklar, hem doğrudan termometre ölçümlerine dayalı göstergeleri hem de vekil temelli göstergeleri içeren bir dizi kaynağa dayanılarak tahmin edilmiştir. Vekil terimi ne anlama gelir? Burada ve başka yerlerde kullanıldığı şekliyle, vekil, değişken için kullanılan kısaltmadır. "Vekil" terimi yaygın olarak, yedek ya da temsilci anlamında kullanılır; örneğin "Vekil oy" ya da "Vekil yoluyla savaş." Aynı biçimde, iklimbilim söyleminde de vekil değişken, geçmişteki okyanus ya da kara sıcaklıkları gibi, bilinmesi arzulanan (ama gözlemlenemeyen) "değişken"in yerine geçen ölçülebilir bir "tanımlayıcı" anlamına gelir. Kısacası, doğrudan ölçemediğiniz bir iklim değişkenini tahmin etmek için vekil değişkenini kullanabileceğiniz varsayılmaktadır. Aşağıda da göreceğimiz gibi, ağaç hal-

kalarının kalınlığını, geçmişteki kara sıcaklıklarını tahmin etme yolu olarak kullanabilirsiniz; bu örnekte ağaç halkası kalınlığı, sıcaklık için bir vekildir.

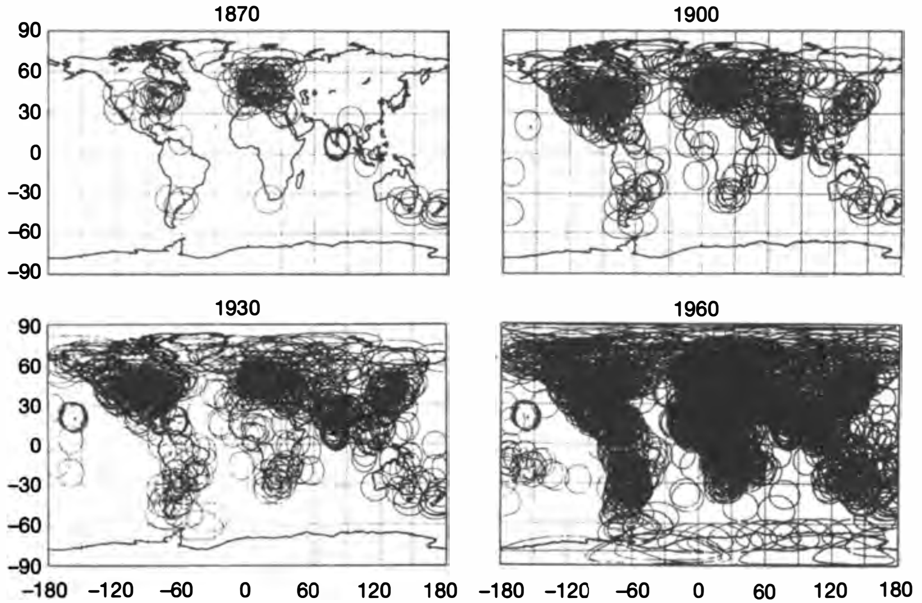
Termometre temelli göstergeler arasında deniz yüzeyi sıcaklığı (SST), deniz hava sıcaklıkları (MAT), kara yüzeyi hava sıcaklığı ve örneğin balonlardaki algılayıcılar aracılığıyla ölçülen serbest atmosfer sıcaklığı yer almaktadır. Sondaj deliği sıcaklık ölçümlerinin vekil temelli olarak nitelenmesinin nedeni, doğrudan sıcaklık ölçümlerinin kullanılmasına karşın, bunların zamanla değişmiş olmasıdır. Sondaj deliklerinde günümüzde ölçülen sıcaklığın zaman içerisinde yer sıcaklığında oluşmuş değişimlere çevrilebilmesi için matematiksel evirtim yöntemlerinin kullanılması gerekir. Öteki vekil temelli yöntemler arasında kızılötesi uydu ölçümleri ve ağaç halkası en ve kalınlığı ölçümleri yer almaktadır.

Termometre temelli hava sıcaklığı ölçümleri 1760 gibi erken tarihlerde Kuzey Amerika ve Avrupa'da bir dizi yerde kaydedilmiştir. Ama gözlem yeri sayısı, küresel bir kara ortalamasının hesaplanabilmesini sağlayacak dünya çapında coğrafi kapsama 19. yüzyıl ortasına dek ulaşmaz. SST ve deniz hava sıcaklıkları 19. yüzyıl ortalarından bu yana gemiler tarafından sistematik olarak kaydedilmiştir, ama günümüzde bile güney yarıkürenin pek az bir kısmı kapsanabilmektedir. Şartlardaki ve ölçüm tekniklerindeki değişimler nedeniyle bütün bu veri kümelerinde çeşitli düzeltmeler yapılması gerekir. Örneğin kara verileri için ölçüm yerindeki, kullanılan araçlardaki, araç muhafazalarındaki ya da aylık ortalamaların hesaplanma yöntemindeki değişikliklerin veya kentsel ısı adası etkisi nedeniyle

sıcaklıkların yükselmesine yol açan kentleşmenin sonucunda zaman içerisinde şartların değişmediğinden emin olunması için her istasyon incelenmiştir.

SST ve MAT için yapılması gereken bazı düzeltmeler bulunmaktadır. İlk olarak, 1941'e dek SST sıcaklık ölçümlerinin çoğu bir kovayla güverteye çekilen deniz suyunda yapılırdı. 1941'den bu yanaysa ölçümlerin çoğu, geminin motorlarına alınan su üzerinden yapılıyor. İkinci olarak, 1856'yla 1910 arasında tahta kovalardan yelken bezi kovalara geçildi ve bu da, su güverteye çekilirken oluşan buharlaşmanın yol açtığı soğuma miktarını değiştirir. Ayrıca, bu dönemde kademeli olarak yelkenli gemilerden buharlı gemilere geçildi ve bu da gemilerin güverte yüksekliğiyle hızını değiştirdi; bu etmenlerin her ikisi de kovaların buharlaşma kaynaklı soğutma etkisini değiştirebilir. Yapılması gereken öteki önemli düzeltme, meteoroloji istasyonlarının küresel dağılımının zaman içerisinde değişmesiyle ilgilidir. Şekil 14'te görüldüğü gibi, 1870'le 1960 arasında istasyon sayısında ve konumlarında büyük farklılıklar gözleniyor. Ama bu düzeltmeler yapıldığında son 130 yıl için kesintisiz bir kara yüzey havası ve SST sıcaklığı kaydının oluşturulması mümkündür ve bu kayıtlarda bu dönem içinde 0,65 - + 0,05°C düzeyinde bir küresel ısınma görülmektedir.

130 yıllık sıcaklık veri kümesinin bu derece ilgi çekici olmasının nedeni ayrıntıları, özellikle de daha önce de belirtildiği gibi 1960'larda ve 1970'lerde gözlenen soğumadır. Gelecekte oluşabilecek iklim değişikliklerinin tahmininde kullanılan iklim modellerinin geçirildiği başlıca sınavlardan biri, 1870'den bu yana görülen değişiklikleri yeniden



14. Meteoroloji istasyonlarının küresel dağılımı

üretip üretememeleridir. Bir sonraki bölümde bu modeller daha ayrıntılı olarak tartışılacak, ama sıcaklık kaydının simülasyonu ancak, doğal zorlamayla (örneğin 11 yıllık güneş döngüleri ve yanardağ patlamaları kaynaklı stratosfer aerosolleri) antropojenik zorlamanın (sera gazları ve kükürtlü aerosoller) birleştirilmesiyle üretilebilir.

Son kırk yıl için elimizde balon verileri bulunuyor. 1958'de 540 istasyonla kurulan ilk şebekeden düzenli olarak bırakılan radyosondalarla, yani balonlarla yaklaşık 20 kilometre yüksekliğe dek sıcaklık, göreceli nem ve basınç ölçülebiliyordu; bu yükseklikteyse balonlar patlıyordu. 1970'lere gelindiğinde şebeke, günde iki kez rapor veren 700-800 istasyonu içerecek şekilde genişlemişti. Balon veri kümesi son otuz yılda yaklaşık 0,1-0,2^{0}C/10 yıl düzeyinde genel yüzey ve alt troposfer ısınmasına işaret ediyor ve üst troposferde zayıf, stratosferdeyse güçlü bir soğuma gözleniyor.

Son 20 yıldır uydu temelli vekil kayıtları mevcut ve bunlar, küresel ısınma tartışmasında bazı önemli görüş ayrılıkları doğmasına neden oldu. Uydulara kurulan mikrodalga algılayıcıların avantajı, ağırlıklı olarak kara ve kuzey yarıküre temelli balonların aksine küresel bir kapsama alanlarının bulunmasıdır. Ama mikrodalga veri kümesinin bazı önemli sorunları bulunuyor. İlk olarak, sıcaklık kaydı sekiz farklı uyduya dayanıyor ve ölçüm zamanlarının çakışmasına rağmen, farklı donanımlar arasındaki ayar konusu sorun yaratıyor. İkinci olarak, 1990'dan sonra yörüngede dönüş zamanlarındaki bir değişime bağlı olarak 0,03-0,04^{0}C düzeyinde aldatıcı bir ısınma eğilimi ve atmosferdeki sürtünme nedeniyle uyduların irtifasının, yani

yüksekliğinin düşmesine bağlı olarak onyıl başına 0,12°C düzeyinde aldatıcı bir soğuma eğilimi görülüyor. Üçüncü olarak, mikrodalga algılayıcısının sıcaklığı ölçtüğü atmosfer içi yükseklik, atmosferdeki buz kristallerinden ve yağmur damlalarından etkileniyor. Bu nedenle, gezegen ısınıyorsa daha yüksek irtifalarda nem görülecek ve mikrodalga algılayıcısı sıcaklığı atmosferdeki sıcaklığa, yani troposferin daha soğuk kısımlarına kıyasla çok daha yüksek bir düzeyde ölçecek ve dolayısıyla, aslında oluşandan daha düşük bir sıcaklık artışı gösterecektir. Son otuz yıl için uyduyla kaydedilmiş küresel sıcaklık eğilimleri hakkındaki raporların değişmiş olması şaşırtıcı değil; yayınlanan her yeni bildiri, dikkate alınması gereken yeni bir düzeltme getiriyor. Örneğin Christy *ve diğ.* (1995) 1979-1994 döneminde onyıl başına 0,05°C düzeyinde küresel ortalama soğuma eğilimi görüldüğü sonucuna varmakla birlikte, El Niño'nun etkileriyle Pinatubo Dağı patlamasının iklimsel etkilerini çıkardıklarında bu dönem için onyıl başına 0,09°C düzeyinde bir ısınma eğilimi elde ettiklerinde büyük bir tartışma yaşandı. Uydu yüksekliğinin düşmesi dikkate alınarak veri kümesinde düzeltmeler yapıldığında, küresel ortalama soğuma, onyıl başına 0,07°C düzeyinde bir ısınmaya dönüşüyor. Balon, yüzey ve uydu verileri karşılaştırıldığında belli bir uyuşma gözleniyor ve bu veriler yüzeyle alt troposferin ısındığını, stratosferin ise soğumakta olduğunu gösteriyor. Harvey'nin çalışmasında (2000) her bir veri kümesinde yapılan düzeltmeler ve yapılma nedenleri konusunda mükemmel bir özet bulunabilir.

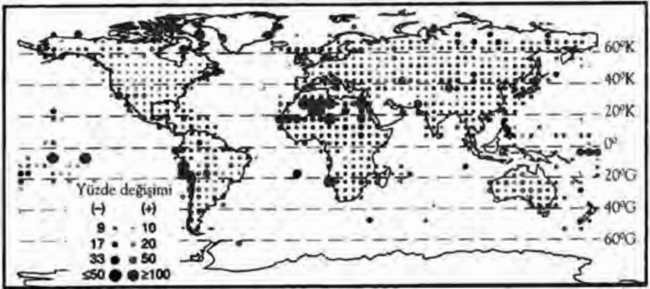
Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1861'den 1998'e dek yayınlanmış tüm kara yüzeyi hava sı-

caklıklarıyla deniz yüzeyi sıcaklıklarını yukarıda tartışılan tüm düzeltmelerle beraber birleştirmiştir. Şekil 13'te bu veriler 1961'le 1990 arasındaki ortalama sıcaklıkla karşılaştırılarak veriliyor ve sizin de göreceğiniz gibi, 1980'lerin başından itibaren şiddetli bir ısınma gözleniyor. 19. yüzyıl sonlarından bu yana ortalama küresel yüzey sıcaklığı yaklaşık 0,3-0,6⁰C düzeyinde artmıştır. Balon ve uydulardan elde edilen kanıtlar da dahil edildiğinde, en güvenilir verilerin elde edilmiş olduğu son 40 yıllık dönem içerisinde 0,2-0,3⁰C düzeyinde bir artış görülmektedir. Son yıllar, 1860'tan bu yana –kullanılabilir kayıtların mevcut olduğu dönem– yaşanan en sıcak yıllar arasında yer almaktadır. Bu ısınma hem deniz yüzeyi hem de kara temelli yüzey hava sıcaklıklarında açıkça görülüyor. Sondaj deliği sıcaklıkları ve buzulların küçülmesi gibi dolaylı göstergeler de gözlenen ısınmaya ayrı bir kanıt oluşturuyor. Isınmanın tüm gezegende tekdüze biçimde gerçekleşmediği de belirtilmeli. Yakın tarihli ısınma en yüksek değerlere 40⁰ Kuzey ve 70⁰ Kuzey enlemleri arasında kalan yerlerde ulaştı, ama Kuzey Atlantik Okyanusu gibi bazı bölgeler son onyıllarda soğudu.

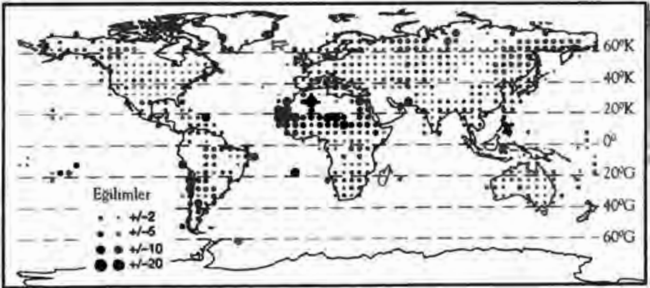
Yağış

İki küresel yağış veri kümesi bulunmaktadır: "Hulme" ve "Küresel Tarihsel İklim Ağı" (GHCN). Ne yazık ki yağmur ve kar kayıtları sıcaklık kadar iyi belgelenmemiştir ve kayıtlar da o kadar uzun süredir tutulmamaktadır. Toplama çanağının etrafındaki hava akımının etkileri nedeniyle

(a)



(b)



15. Karalar üzerindeki yağışlarda görülen değişiklikler a) 1995-1974'ten 1975-1994'e b) 1900'den 1994'e

kara üzerindeki yağışın aslında olduğundan genellikle % 10-15 düzeyinde daha düşük tahmin edildiği de bilinmektedir. Bu etkinin zamanla fark edilmesi ve düzeltilmesiyle, küresel yağışta aldatıcı bir artış eğilimi ortaya çıktı. Düzeltmeden sonra, kara üzerinde %1 düzeyinde genel yağış artışı görülüyor ve bu da sıfırdan ayırt edilemeyecek kadar düşük bir artış. Ayrıntılı bir bakış, Yerküre'nin kara yüzeyi

üzerindeki ortalama alındığında, yağışın yüzyıl başından 1960 civarına dek arttığına, ama 1980 civarından itibaren düştüğüne işaret ediyor. Ancak küresel ısınmayla ilgili başlıca veri kümelerinde olduğu gibi burada da büyük bir boşluk var; bunun nedeni, okyanuslar üzerindeki yağışla ilgili verilerin bulunmaması. Ama yağışların görülme yerlerinde bazı önemli değişiklikler gözleniyor (Şekil 15). Görünüşe bakılırsa kuzey yarıkürenin yüksek enlemlerinde özellikle de soğuk mevsimde karalar üzerindeki yağış artmıştır. Ayrıca, özellikle ABD, eski Sovyetler Birliği ve Çin'de ağır yağmur olaylarında düşen yağmur miktarında artış görüldüğüne işaret eden bir araştırma da var. 1960'lardan sonra astropiklerde ve tropiklerde Afrika'yla Endonezya arasında yağışta düşüş görüldü. Bu değişimler, akarsu akışlarındaki, göl seviyelerindeki ve toprak yüzeyindeki değişimler üzerinde yapılan mevcut veri analizleriyle tutarlıdır. Kar açısından son yirmi yıl içindeki % 5-20 düzeyindeki artışla şampiyonumuz Antarktika; Grönland ise son 50 yılda birikmiş karının yaklaşık % 20'sini kaybetti.

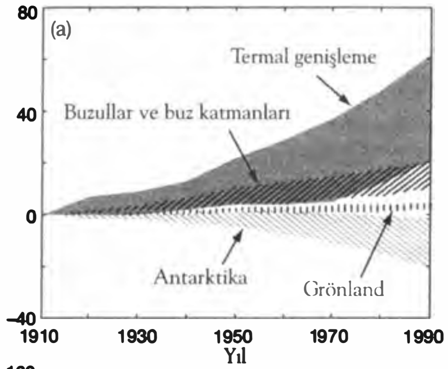
Göreceli deniz seviyesi

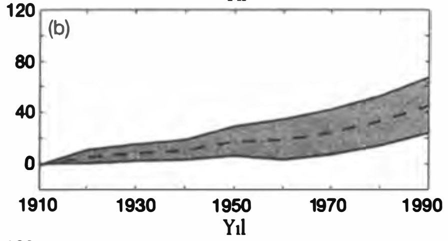
IPCC deniz seviyesi konusunda da bir temel veri kümesi oluşturdu. Genel olarak, son 100 yıl içinde küresel deniz seviyesinin 4 ila 14 cm yükseldiğini gösteriyor (Şekil 16). Ama göreceli deniz seviyesi değişimleri temelde gelgit ölçeği verilerinden çıkartıldığından, deniz seviyesindeki değişimin ölçülmesi zordur. Geleneksel gelgit ölçeği sisteminde deniz seviyesi, kara temelli bir gelgit ölçeği işaret

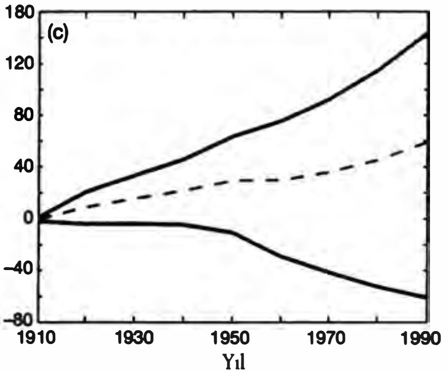
noktasına göre ölçülür. Buradaki başlıca sorun, kara yüzeyinin bekleneceğinden çok daha dinamik olması, pek çok dikey hareket yaşanması ve bunların da ölçümlere girmesidir. Dikey hareketler delta tortullarının normal jeolojik sıkışması, kıyı su örtülerindeki yeraltı suyunun çekilmesi (her iki konu da 6. Bölüm'de, Kıyı kısmında daha ayrıntılı olarak tartışılmaktadır), tektonik levhaların çarpışmasıyla bağlantılı yükselme (bunun en aşırı düzeydeki örneği Himalayalar gibi dağ oluşumlarıdır) ya da başka yerlerde, son buz çağının sona ermesiyle ilişkili süregiden buzul çağı sonrası geri tepme ve telafi olayları sonucunda oluşabilir. Bu sonuncusunun nedeni, devasa buz örtüleri eridiğinde ağırlığın hızla ortadan kalkmasıdır, böylece ağırlıkla bastırılmış kara yavaş yavaş asıl konumuna döner. Bunun örneklerinden biri, İskoçya buz örtüsünün 10.000 yıl önce erimiş olmasına rağmen, İngiltere hâlâ yılda 2 mm oranıyla alçalırken yılda 3 mm oranıyla yükselmekte olan İskoçya'dır. Bir kez daha, bazı düzeltmeler yapıldığında, küresel gelgit ölçeği ağı 20. yüzyılın başından bu yana deniz seviyesinde oluşan yükselmenin 18 cm'ye (yaklaşık olarak 1,8+-0,1 mm/yıl) kadar çıkabileceğini düşündürüyor. Bu zaman ölçeğinde, okyanusların ısınması ve sonuçta oluşan termal genişleme, gözlenen deniz seviyesi yükselişinin yaklaşık 2-7 santimetresinden sorumlu olabilir; yaklaşık 2-5 santimetresinin sorumlusunun ise gözlenen buzul gerilemesi olması mümkündür. Öteki etmenlerin sayıya dökülmesi çok daha zor. Deniz seviyesinde gözlenen yükselme düzeyi, Grönland ve Antarktika'daki devasa buz örtülerinin net olarak pozitif katkısı olabileceğini düşündürüyor, ama bu buz örtüleri üzerinde yapılan gözlemler, son 100 yıl içinde

küresel deniz seviyesini yılda -0,05 milimetre düzeyinde etkileyecek net bir genişleme yaşanmış olabileceğine işaret ediyor. Son 100 yıl için bu buz örtüleri hakkında yeterli veri bulunmadığından, buz örtüleri hâlâ, deniz seviyesinde geçmişte görülen değişimlerin açıklanmasında başlıca belirsizlik kaynaklarından biridir.

Küresel ısınma konusunda en büyük bilinmezlerden biri, Grönland ve Antarktika üzerindeki devasa buz örtülerinin eriyip erimeyeceğidir. Bu buz örtülerindeki genişleme ya da daralmaya dair temel göstergelerden biri, etraflarını saran deniz buzudur. Karalar üzerindeki buzların küçülmesi deniz seviyesinin yükselmesine yol açtığından, kriyosferin (yani küresel buzun) durumu çok büyük önem taşıyor. Ne yazık ki denizaltılar daha şimdiden, kutuplardaki buz katmanlarında kaygılandırıcı bir incelme kaydettiler. Deniz buzu draftı, buzun deniz altına gömülü kısmının kalınlığıdır. Dolayısıyla, küresel ısınmanın kriyosfer üzerindeki etkilerinin anlaşılması için, kutup bölgelerinde ne kadar buzun erimekte olduğunun ölçülmesi çok önemlidir. 1993'le 1997 arasında denizaltı seferlerinde elde edilen deniz buzu draftı verileri 1958'le 1976 arasında elde edilmiş benzer verilerle karşılaştırıldığında, erime mevsimi sonundaki ortalama buz draftının Kuzey Buz Denizi'nin derin deniz kısımlarının çoğunda yaklaşık 1,3 metre azalarak, 1958-1976 dönemindeki 3,1 metre düzeyinden 1990'larda 1,8 metreye inmiş olduğu anlaşılıyor. Özetle, 1990'larda buz draftı, yirmi ya da kırk yıl öncesine kıyasla bir metreden daha fazla incelmiştir. Ana draft 3 metrenin üzerinde bir düzeyden 2 metrenin altına indi ve hacim de yaklaşık % 40 düştü. Ayrıca 2000 yılında, kayıtlı tarihte ilk kez, Kuzey







16. Tahmini deniz seviyesi yükselişi, 1910-1990.

Kutbu üzerindeki deniz buzunda uzaydan görülebilecek büyüklükte bir delik açıldı. Ne yazık ki uydu kayıtları çok kısa bir süredir tutulduğundan, bunun sık görülen doğal bir olay mı olduğunu yoksa Kuzey Kutbu buzunda önemli düzeyde bir erimeye mi işaret ettiğini bilemiyoruz. Dahası, Grönland'ın büyüklüğüne dair ölçümler, özellikle de kıyı kenarlarında küçülmekte olduğunu düşündürüyor.

Küresel ısınmanın öteki kanıtları

Küresel ısınmanın öteki kanıtlarını permafrost bölgelerinden ve bazı fırtına kayıtları gibi hava durumu modellerinden elde ediyoruz. Toprağın son derece derin düzeylere dek donmasına yol açacak kadar soğuk olan yüksek enlem ve yüksek boylam bölgelerinde permafrost bulunur. Yaz aylarında permafrostun yalnızca en üst yaklaşık bir metresi eriyecek kadar ısınır; buna aktif katman denir. Alaska'da daha şimdiden, son 50 yılda en azından bir metre derinliğe dek 3°C düzeyinde ısınma olmuş gibi görünüyor ve bu da aktif katmanın derinleşmiş olduğunu gösteriyor. Gelecekte atmosferdeki karbondioksit miktarında görülmesi beklenen devasa artışlar karşısında, permafrostun aktif katmanının kalınlığında artış görülmesi ya da belki de kimi yerlerde, kesintili olarak nitelenen permafrostun önümüzdeki yüzyılda tamamen ortadan kalkması olasıdır. Permafrosttaki bu geniş çaplı kayıp erozyonu ya da çökmeleri tetikleyeceğinden ve hidrolojik süreçleri değiştireceğinden yerel düzeyde çok çeşitli sorunlar yaratacak ve donmuş katmanlarda organik madde olarak sıkışmış metan ve kar-

bondioksitin atmosfere salınmasına yol açacaktır. Permafrosttaki değişimler yamaçların istikrarını azaltarak heyelan ve çığ sıklığını yükseltecek. Kriyosferin daha dinamik hale gelmesi insanların, yapıların ve iletişim ağlarının karşı karşıya kalacağı doğal tehlikeleri artıracak. Binalar, yollar, örneğin Alaska'daki petrol boru hatları gibi boru hatları ve iletişim ağları daha şimdiden tehdit altında.

Hava durumu modellerimizin değişmekte olduğunu gösteren kanıtlar da var. Örneğin son yıllarda Çin, İtalya, İngiltere, Kore, Bangladeş, Venezüella ve Mozambik'te şiddetli fırtınalar ve ardından seller yaşandı. 2000 yılında İngiltere'de, "30 yılda bir görülen olaylar" olarak sınıflandırılan türde seller aynı ay içinde iki kez yaşandı. Dahası, 2000-2001 kışı, 18. yüzyılda kayıtların tutulmaya başlanmasından bu yana Britanya'da kaydedilmiş en yağışlı altı ay oldu ve 2003 yazında Britanya'da, kayıt tutulmaya başlanmasından bu yana ilk kez 38^{0}C sıcaklığa ulaşıldı. Ayrıca Britanya'da kuşlar ortalama olarak, 30 yıl öncesine göre 12+-4 gün daha erken yuva yapıyor. Hayatta kalmak için sıcak havaya ihtiyaç duyan böcek türleri –arılar ve termitler dahil– kuzeye yöneliyor ve bazıları daha şimdiden, Manş Denizi'ni geçerek Fransa'dan İngiltere'ye ulaştı. Avrupa'da, özellikle de Alplerde ve İzlanda'da buzullar geriliyor. Finlandiya'daki Tornio Nehri'nde 1693'ten bu yana tutulmakta olan buz örtüsü kayıtları, donmuş nehrin bahar aylarındaki çözülmesinin artık bir ay erkene kaydığını gösteriyor.

Kuzey yarıkürede artık daha fazla fırtına çıktığını gösteren kanıtlar da var. 1950'lerin başlarından bu yana Kuzey Atlantik Okyanusu'ndaki dalga yüksekliği fener ge-

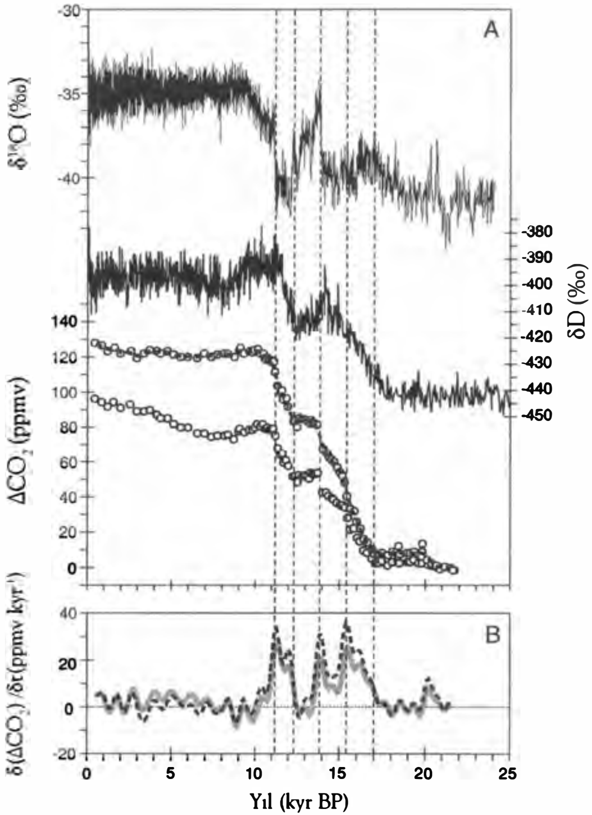


17. 2000 yılında Mozambik'te yaşanan seller

milerinden, Okyanus Hava Durumu İstasyonları'ndan ve daha yakın zamanlarda uydulardan izleniyor. 1950'lerle 1990'lar arasında ortalama dalga yüksekliği 2,5 metreden 3,5 metreye çıktı; % 40 düzeyinde bir yükseliş bu. Fırtına şiddeti dalga yüksekliği üzerindeki başlıca etki ve son 40 yılda fırtına hareketliliğinde artış görüldüğü yönünde kanıtlar bulunuyor. Avrupa kıyılarını döven fırtına kaynaklı okyanus dalgalarının ürettiği uzun dalga titreşimlerinin depremleri kaydetmek üzere yerleştirilmiş hassas donanımlarca kaydedildiğini öne süren Alman bilim adamları da bunu destekliyor. Bu kanıtlara dayanarak kış mevsiminde ay başına düşen fırtınalı gün sayısını hesapladılar. Son 50 yıl içinde fırtınalı gün sayısı ayda 7'den 14'e yükselmiş görünüyor. Kış aylarındaki tropikötesi siklonlarında, yani orta enlemlerde oluşan siklonlarda gözlenen artışa da uyuyor bu durum; bu tür siklonlar son yüz yıl içerisinde önemli derecede arttı ve 1970'lerin başlarından bu yana hem Pasifik hem de Atlantik kesimlerinde önemli düzeyde artış görülüyor. Ama son 50 yılda kasırga sayısında küçük bir azalma olmuştur.

Kuşkucular ne diyor?

Küresel ısınma hipotezini destekleyen kanıtları özetlemenin ve siz okurları insanlığın küresel iklimi daha şimdiden değiştirmiş olduğunu gösteren kanıtlar bulunduğuna ikna etmenin en iyi yollarından biri, kuşkucuların bu hipotez aleyhinde söylediklerini gözden geçirmek olacak.

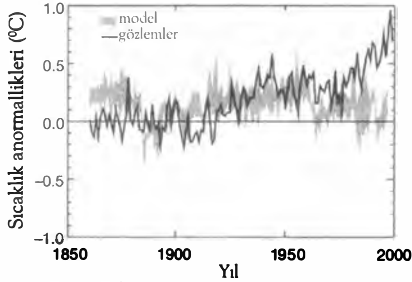


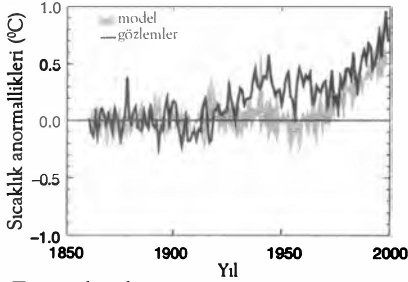
18. Karbondioksitin Antarktika'daki ısınmayla uyumlu olduğunu gösteren buz çekirdeği kayıtları. A) δ^{18} ve δD = sıcaklık kayıtları, ΔCO_2 değişen atmosferdeki karbondioksit düzeyleri, yüksekteki eğride son buz çağından bu yana mercan resifleri ve kara bitki örtüsünde görülen değişimler dikkate alınmıştır. B) büyük bölümü üç büyük adımda oluşan, karbondioksit değişim oranı

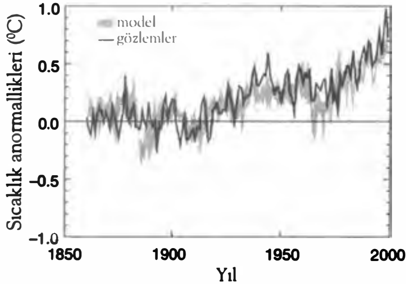
1. Buz çekirdeği verileri, atmosferdeki karbondioksitin küresel sıcaklığa tepki verdiğini düşündürüyor, öyleyse atmosferdeki karbondioksit küresel sıcaklık değişikliklerine yol açamaz.

Son buzul döneminin sonundaki buz çekirdeği karbondioksitine dair ayrıntılı bir inceleme, başlıca aşamalı artışların Antarktika'daki ısınmayla aynı zamanda ortaya çıktığını gösteriyor. Son buzul çözülmesi sırasında Antarktika'daki kademeli ısınmanın kuzey yarıküredeki ısınmadan önce gerçekleştiği bilinmektedir (Şekil 18). Dolayısıyla, genel küresel sıcaklıkların yükselip buz örtülerinin erimeye başlamasından önce atmosferdeki karbondioksitin arttığını gösteren sağlam kanıtlar var. Hatta, Antarktika sıcaklıklarıyla atmosferdeki karbondioksit düzeylerinin birbirleriyle ilişkili olduğunu gösteren açık kanıtlar bulunuyor (Şekil 18) ve bu da, karbondioksitin iklim konusunda merkezi bir rol oynadığını gösteriyor. Dahası, Cambridge Üniversitesi'nden Profesör Shackleton'ın son dört buzul-buzularası döngüye dair zamanlama analizi, küresel buz örtülerinde değişim başlamasından beş bin yıl öncesine uzanan, atmosferik karbondioksit tepkisine işaret ediyor. Bu da pek çok paleoiklimciyi atmosferdeki karbondioksitin rolünü yeniden değerlendirmeye yöneltti ve sonuçta atmosferdeki karbondioksit, ikincil bir tepki ve etmen olmak yerine, geçmiş iklim için başlıca itici güç olma konumuna yerleşti.

2. Küresel ısınmaya işaret eden her veri kümesi arzulanan sonuca ulaşılması amacıyla düzeltilmiş ya da eğilip bükülmüştür.







19. Gözlenmiş sıcaklıklarla karşılaştırmalı olarak yıllık küresel ortalama yüzey sıcaklıkları simülasyonları.

Bilimle sürekli olarak ilgilenmeyen kişiler için bu, "küresel ısınma gerçekleşti" savındaki en büyük sorun olabilir. Daha önce de işaret etmiş olduğum gibi, son 150 yılı kapsayan tüm veri kümelerinde bazı ayarlamalar yapılması gerekmektedir. Ama bilimsel sürecin bir parçasıdır bu. Örneğin küresel yağış veri tabanındaki aldatıcı eğilimler konusunda büyük bir dikkat gösterilmiş olmasaydı, şu anda küresel yağışın artmakta olduğunu varsayacaktık. Üstelik, bilim aşamalı olarak ilerlediğinden, kurmakta olduğu veri kümeleri konusundaki anlayışı ve içgörüsü sürekli artar. Tüm verilerin ve yorumların bu şekilde sürekli olarak sorgulanması, bilimin başlıca güçlü yönüdür: her yeni düzeltme ya da uyarlama, verileri ve iklim sistemini daha iyi anlamamıza bağlıdır ve dolayısıyla her yeni inceleme, sonuçlara duyduğumuz güveni daha da artırır. IPCC'nin "kanıtların ağırlığı"ndan söz etmesinin nedeni budur; aynı sonuçlar farklı kaynaklara dayanılarak elde edildiğinde, bilime duyduğumuz güven artar.

3. Geçmişteki sıcaklıkları güneşten gelen enerji ve güneş lekesi faaliyeti belirlemiştir.

Hem kuşkucuların hem de hipoteze inananların üzerinde anlaştıkları bir noktadır bu. Güneş lekeleri ve ayrıca yanardağ faaliyetleri geçmişteki sıcaklıkları elbette etkilemiştir. Örneğin 1960'lar ve 1970'lerdeki soğumanın güneş lekesi döngüsüyle bağlantılı olduğu açıktır. İki taraf arasındaki fark, kuşkucuların bu doğal değişikliklere daha fazla önem vermeleridir. Güneşten gelen enerjideki küçük değişikliklerin küresel iklimi nasıl etkilediğinin anlaşılmasına

a) **Sıcaklık** göstergeleri

OKYANUS | KARA | OKYANUS

ALT STRATOSFER

** alt stratosfer: 1979'dan bu yana 0,5 ila 2,5 °C düzeyinde düşüş

TROPOSFER

Üst
* 1979'dan bu yana çok az değişim ya da hiç değişim yok

Alt-Orta
** 1979'dan bu yana 0,0 ila 0,2 °C düzeyinde artış – uydular ve balonlar
* yaklaşık 1960'dan bu yana 0,2 ila 0,4 °C düzeyinde artış

YÜZEY YAKININDA

** Kuzey Yarıküre Bahar kar örtüsü boyutu: 1987'den bu yana 1966-1986 ortalamasının % 10 altında

* 1990'lar binyılın en sıcak onyılı ve 1986 en azından Kuzey Yarıküre için en sıcak yıl olmuştur
** deniz hava sıcaklığı: 19. yüzyıl sonlarından bu yana 0,4 ila 0,7 °C düzeyinde artış

*** deniz yüzeyi sıcaklığı: 19. yüzyıl sonlarından bu yana 0,4 ila 0,8 °C düzeyinde artış
* küresel okyanus (300 metre derinliğe dek) ısı içeriği artışı 0,04 °C / onyıl düzeyindedir
* 1950'lerden bu yana

*** 20. yüzyılda dağ buzullarında çok büyük gerileme
* 1950'den bu yana kara gece hava sıcaklığında gündüz sıcaklıkları oranına kıyasla iki kat artış
** 19. yüzyıl sonlarından bu yana orta ve üst enlemlerdeki göl ve nehir buzlarında gerileme (buz süresinde 2 haftalık düşüş)
*** kara hava sıcaklıkları: 19. yüzyıl sonlarından bu yana 0,4 ila 0,8 °C düzeyinde artış

* Kuzey Kutbu deniz buzu: 1950'lerden bu yana yaz kalınlığında % 40 düşüş ve bahar ve yaz aylarında ve yaz aylarında % 10-15 düşüş
? Antarktika deniz buzu: 1978'den bu yana bir değişim yok

Olasılık:
- *** **Neredeyse kesin (olasılık > % 99)**
- ** **Çok olası (olasılık ≥ % 90, ama ≤ %99)**
- * **Olası (olasılık > % 66, ama < %90)**
- ? **Orta olasılık (olasılık > % 33, ama ≤ %66)**

b) Hidrolojik **ve fırtınalarla** bağlantılı göstergeler

OKYANUS | KARA | OKYANUS

ALT STRATOSFER

* 1980'den bu yana % 20 su buharı artışı (18 km üzerinde)

TROPOSFER

Su buharı
- üst troposfer: * 1980'den bu yana önemli küresel eğilimler gözlenmedi; tropiklerde % 15 artış (10°K ila 10°G arası)
- troposfer: * yaklaşık 1960'tan bu yana pek çok bölgede artış

? 1952'den bu yana okyanus üzerinde toplam bulut miktarında % 2 artış

* 20. yüzyılda karalar üzerinde toplam bulut miktarında % 2 artış

YÜZEY YAKININDA

? hortumlar, fırtınalı günler ve dolu da sistematik geniş çaplı değişim yok

? 20. yüzyılda tropikötesi yerlerde fırtına sıklığı/yoğunluğunda tutarlı bir değişim yok

* astropiklerde % 2-3 düşüş
* tropiklerde % 2-3 artış

20. yüzyılda kara yüzeyindeki yağmurlarda

** 20. yüzyılda tropiklerde fırtına sıklığı/yoğunluğunda yaygın bir değişim yok

** 1900'den bu yana Kuzey Yarıküre'de orta-üst enlemlerde yağışta % 5-10 artış, artışın çoğu ağır/aşırı olaylara bağlı
* 1975-1995 arasında Kuzey Yarıküre'de yüzey su buharında yaygın ve önemli düzeyde artış

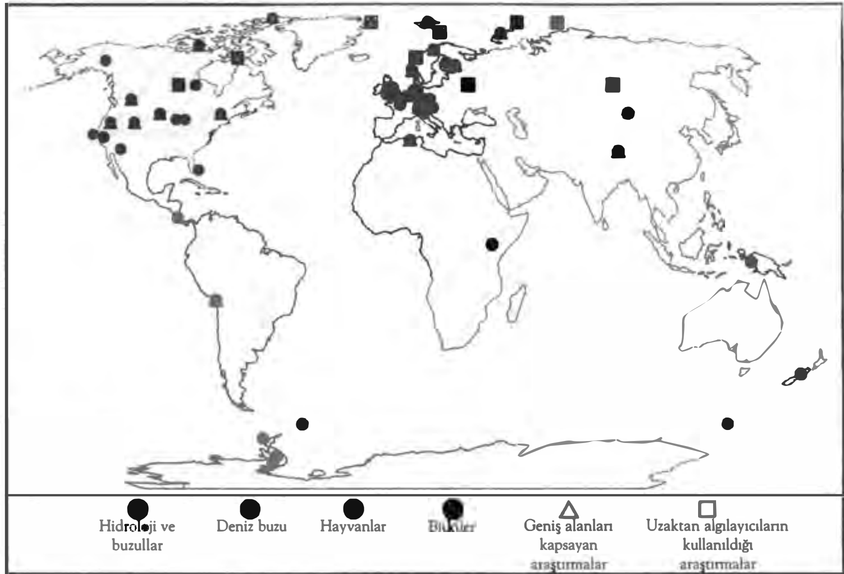
Olasılık:
- *** **Neredeyse kesin (olasılık > % 99)**
- ** **Çok olası (olasılık ≥ % 90, ama ≤ %99)**
- * **Olası (olasılık > % 66, ama < %90)**
- ? **Orta olasılık (olasılık > % 33, ama ≤ %66)**

20. Sıcaklık göstergeleriyle hidrolojik ve fırtınalarla bağlantılı göstergelerde gözlenen değişimlerin şeması.

büyük dikkat gösterilmiş olsa da, hâlâ pek çok bilinmezlik ve belirsizlik içeren alanlardan biridir bu. Ama sera gazları (bkz. s. 28 ve 29'daki 1. Tablo) ve güneş lekeleri de dahil tüm ışınım zorlamalarıyla ilgili en son bilgilerimizi bir araya getiren iklim modelleriyle son 130 yıl için küresel sıcaklık eğrisinin simülasyonu üretilebiliyor. Şekil 19'da son 130 yıl için küresel iklimi etkilemiş birbirinden ayrı doğal ve artropojenik zorlamalar ve ikisinin bileşimi gösteriliyor. Bu da her iki modele de güven duyulmasını sağlıyor ve ayrıca, doğal ve antropojenik zorlamaların göreceli önemlerinin anlaşılmasını sağlıyor.

4. Uydu verileri modellere karşı kuşku doğuruyor.

Uydu verilerini daha iyi anlamaya başlamamızdan önce, bu veriler son 120 yılda hafif bir soğuma yaşandığına işaret ediyordu. Bilimin yinelemeci süreci, yani verilerin ve verilerle ilgili varsayımın yeniden incelenmesi, uydu verileri içerisinde bazı önemli tutarsızlıklar olduğunu açıkça gösterdi; ilk olarak, farklı uydulardaki farklı donanımlardan gelen verilerin karşılaştırılmaya çalışılması sonucunda ve ikinci olarak da, atmosfer içindeki sürtünme nedeniyle yörüngesi küçüldüğünden, uydunun yüksekliğinin ayarlanması gereksinimi nedeniyle. Uydu verileriyle ilgili son sorun, 20 yılın güvenilir bir sıcaklık eğilimi bulmak için çok kısa bir süre olmasıdır. Bunun nedeni, iklim döngülerinin ya da olaylarının kayıtlar üzerinde çok büyük bir etki yaratması ve ortalamaların alınamamasıdır; örneğin güneş lekesi döngüsü 11 yıllık, El Niño-Güney Salınımı 3-7 yıllık ve Kuzey Atlantik Sa-



21. Uzun süreli sistematik araştırmaların, yakın tarihli sıcaklıkla bağlantılı bölgesel iklim değişikliklerinin fiziksel ve biyolojik sistemler üzerindeki etkilerini belgeleyen katı kriterlere uyduğu yerler.

lınımı on yıllıktır. Bu nedenle, yirmi yıllık uydu verilerine bu döngülerden hangilerinin girdiği, sıcaklık eğiliminin yönünü çok büyük oranda etkileyecektir.

Şekil 20'de, son 100 yılda hem sıcaklık hem de su döngülerinde yaşanan iklim değişiklikleri hakkında şu anda sahip olduğumuz bilgiler özetleniyor, Şekil 21'deyse son 100 yılda gerçekleşmiş küresel ısınmaya dair kanıtların bulunmuş olduğu coğrafi yerler gösteriliyor. Benim için, son 100 yılda önemli düzeyde ısınma ve başka iklim değişiklikleri yaşanmış olduğu yönündeki başlıca kanıt, böylesine farklı veri kümelerine dayanan kanıtların ağırlığıdır. Son 100 yıl son 1.000 yılla karşılaştırıldığında, çok farklı bir şeyin gerçekleşmekte olduğu açıkça görülüyor. Kanıtlar, güneş lekesi ve yanardağ faaliyetleri gibi doğal iklim zorlamalarının son binyıldır aynı olduğuna işaret ediyor. Bu da geriye bir tek alternatif bırakıyor – bilinen ışınım zorlamalarıyla sera gazları, küresel iklimi daha şimdiden etkilemiştir. IPCC yayınlanmış çok sayıda bilimsel kanıta dayanarak şu sonuca varıyor (2001): "Yeni kanıtların ışığında ve geriye kalan belirsizlikler de dikkate alındığında, son 50 yılda gözlenen ısınmanın büyük bölümünün sera gazı yoğunluklarındaki artışa bağlı olması (%60-90 kesinlikle) mümkündür."

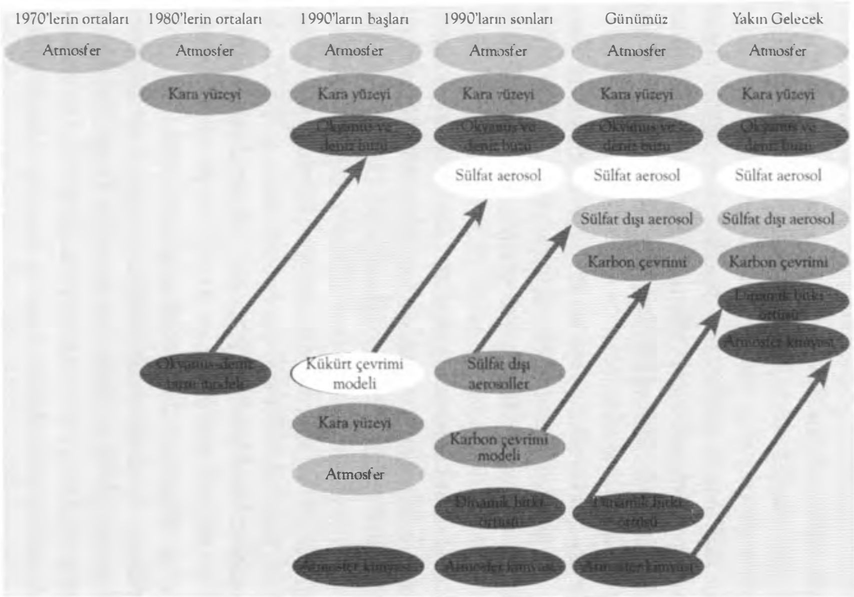
V. Bölüm

GELECEĞİ NASIL MODELLERSİNİZ?

Buna inanmayabilirsiniz, ama insan toplumu geleceğin, özellikle de hava durumunun bilinmesi üzerinden işler. Örneğin, Hindistan'da yaşayan bir çiftçi, ertesi yıl muson yağmurlarının ne zaman başlayacağını ve ekinlerini ne zaman ekeceğini bilir; Endonezya'da yaşayan bir çiftçiyse ertesi yıl iki kez muson yağmuru yağacağını ve bu nedenle iki kez ekim yapabileceğini bilir. Hatırlanan zamanlar içinde musonlar her yıl yaklaşık aynı zamanda başladığından, faaliyetlerini geçmiş bilgisine dayandırmaktadırlar. Ama bu tür tahminler yaşamlarımızın her parçasını etkilediğinden, önemi aslında bundan da fazladır. Evlerimiz yerel iklime göre inşa edilmiştir –İngiltere'de evlerde merkezi ısıtma vardır, ama klima bulunmaz; güney ABD'de ise durum bunun tam tersidir. Yollar, demiryolları, havaalanları, işyerleri, arabalar, trenler hep yerel iklime göre tasarlanır. Toronto yarım metrelik karla kolayca başa çıkıp hayata devam edebilirken, 2003 baharında bir ikindi vakti yağan bir santimlik karın Londra'da hayatı felç etmesinin

nedeni budur. 2003'te İngiltere'de kayıtlı tarihte sıcaklık ilk kez 38°C olduğunda insanlar yakınmaya başlamışlardı; hem ABD hem de Afrika'daki meslektaşlarım bunu çok komik buldular, Avustralyalılarsa sıcaklık 10°C'nin altına indiğinde şoke oluyorlar. Küresel ısınma konusundaki sorun, kuralları değiştirmesi. Bir bölgenin geçmişteki hava durumuna bakarak gelecekte neler olacağını tahmin edemiyorsunuz. Bu nedenle, yaşamlarımızı planlayabilmemiz ve insan toplumunun işlevlerini sürdürebilmesi için, geleceği tahmin etmenin yeni yollarını bulmalıyız. Kısacası bu bölümün başlığındaki soruya verilecek en basit yanıt, geleceği modellemek *zorunda* olduğumuzdur.

Görece basit kutu modellerinden aşırı karmaşık üç boyutlu genel dolaşım modellerine dek uzanan bir iklim modelleri hiyerarşisi bulunuyor. Bu modellerin her birinin küresel iklim sistemine dair anlayışımızın incelenip geliştirilmesinde ayrı bir rolü var. Ama gelecekteki küresel iklimin tahmin edilmesinde karmaşık üç boyutlu genel dolaşım modelleri kullanılıyor. Bu kapsamlı iklim modelleri, tüm dünya çaplı üç boyutlu bir şebeke kullanılarak çözülen matematik denklemleriyle temsil edilen fizik yasalarına dayanıyor. En gerçekçi simülasyonların yapılabilmesi için iklim sisteminin tüm büyük parçalarının atmosfer, okyanuslar, kara yüzeyi (topografya), kriyosfer ve biyosfer gibi alt modellerle ve bunların içerisinde ve aralarında gerçekleşen süreçlerle temsil edilmesi gerekiyor. Okyanus ve atmosfer unsurlarını birleştiren modellere Atmosfer-Okyanus Genel Dolaşım Modelleri (AOGCM'ler) adı veriliyor. İklim modellerinin son yirmi yıldaki gelişimi Şekil 22'de gösterilmiştir. İklim sisteminin farklı parçalarının modelleri önce ayrı ayrı ge-



22. Geçmiş, günümüz ve gelecekte iklim modellerinin gelişimi.

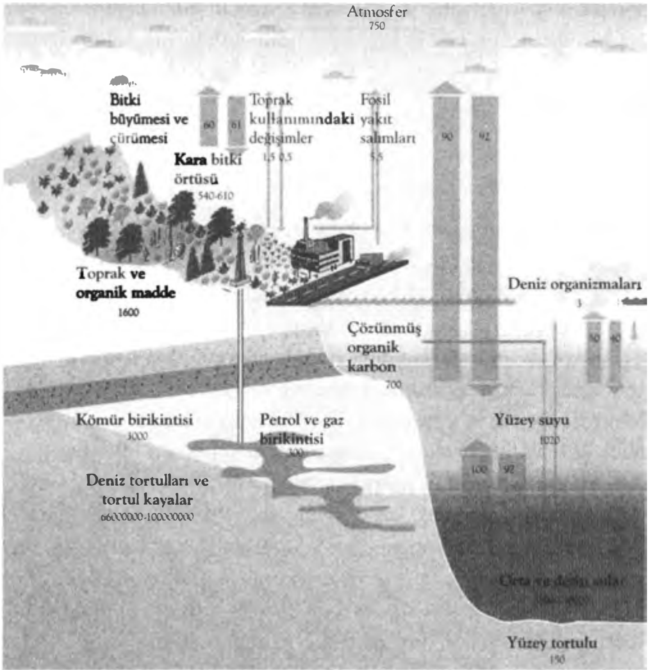
liştirilip, ardından kapsamlı iklim modelleriyle birleştirilir. Örneğin Meteoroloji Dairesi Hadley Merkezi'nin modeli, tümüyle birleştirilmiş "dinamik bitki örtüsü" modeli bulunan ilk AOGCM'dir. Bitki örtüsünün iklimi etkilediği uzun zamandır bilindiğinden, bu çok önemli; iklim değişiklikleri bitki örtüsünü etkileyebiliyor ve bitki örtüsündeki bu değişimler de iklim üzerinde etkili olabiliyor. Örneğin Amazon yağmur ormanları düşen yağışın yaklaşık yarısını yeniden çevrime sokarak, aksi takdirde kurak olacak nemli bir kıta iç kesimi yaratmaktadır.

İklim modellerinin en önemli yönlerinden biri, dünyayı son derece ayrıntılı bir biçimde yeniden kurabilmeleridir; buna genellikle uzamsal çözünürlük denir. Mevcut AOGCM kuşaklarının çözünülürlükleri, yani atmosfer ayrıntıları genellikle, sınır katmanının üzerinde dikey olarak yaklaşık 1 kilometre ve yatay olarak her 250 kilometreye 250 kilometre için bir noktadır. Bu da Britanya Adaları üzerindeki atmosferin yalnızca on noktayla temsil edilmesi anlamına gelir. Tipik bir okyanus modelinin çözünürlüğü dikeyde yaklaşık 200-400 metre, yataydaysa 125-250 kilometredir. Denklemler, bir model çalıştırıldığında oluşan her "yarım saat" simülasyonu üzerinden çözülür. Örneğin bulut ve okyanuslarda ısı iletimi gibi pek çok fiziksel süreç elbette, modelin çözebileceğinden çok daha küçük bir ölçekte gerçekleşmektedir. Bu nedenle küçük ölçekli süreçlerin etkilerinin bir araya getirilmesi gerekir ve buna da parametreleştirme denir. Ama bu parametreleştirmelerin pek çoğu ayrı "küçük ölçekli süreç modelleri"yle kontrol edilerek, bu küçük etkilerin ölçeği doğrulanır. Uzamsal ölçeğin sınırlı olmasının nedeni kapsamlı AOGCM'lerin son

derece karmaşık olmaları ve çalıştırılmaları için çok fazla bilgisayar zamanına ihtiyaç duyulmasıdır. AOGCM'lere doğrudan daha fazla model ekleyerek küresel iklim sisteminin temsil edilmesi çalışmalarında ilerleme kaydedilmesi için, son onyılda bilgisayarların işleme gücünde kaydedilmiş gelişmelerin büyük bölümünden yararlanılmıştır. Bu modellerin pek çok kez çalıştırılması önemlidir, çünkü aşağıda da tartışılacağı gibi, iklim sisteminin pek çok parçası için gelecek parametreleri kesin değildir. Örneğin gelecekteki insan kaynaklı sera gazı salımları, küresel ekonomi, teknolojik gelişim, siyasi anlaşmalar ve kişisel yaşam tarzları gibi pek çok değişkene bağlı olduğundan, sabit değildir. Dolayısıyla, iki yılda önümüzdeki yüz yılın simülasyonunu hazırlamak için dünyanın en eksiksiz modelini geliştirseniz bile elinizde yalnızca, gelecekteki salımlara dair, tümüyle yanlış olabilecek tek bir öngörüye dayalı tek bir gelecek tahmini olacaktır. Bu nedenle, gelecekteki geniş bir değişim aralığının dikkate alınabilmesi amacıyla farklı girdiler kullanılarak bireysel modeller pek çok kez çalıştırılır. IPCC öngörülerine temel oluşturmak için, 22 ayrı AOGCM'nin pek çok kez çalıştırılması sonucu ulaşılan sonuçlara bakmıştır. Bilgisayarların işleme güçleri sürekli arttığından, hem bu birleştirilmiş iklim sistemleri temsilinde hem de uzamsal ölçekte zamanla daha da gelişme kaydedilecektir. Öyleyse bilinmeyenler nelerdir ve neden pek çok farklı model senaryosunun çalıştırılması gerekmektedir? Gelecek için yalnızca bir görüntü yok mu? Ne yazık ki yok ve aşağıda bilinmeyenlerin her biri ve geleceğe dair model tahminlerimizi nasıl etkilediği ayrıntılı olarak anlatılmaktadır.

AOGCM'lerde temel konulardan biri karbondioksitin küresel sıcaklıkları etkileyip etkilemediği değil, ne derece etkilediğidir. Bunun nedeni yalnızca karbondioksitin doğrudan etkisi değil, aynı zamanda pek çok ikincil etki ve örneğin aerosoller, okyanus dolaşımı vb gibi, iklim sistemini soğutması bile mümkün olan öteki iklim etkenleridir. İlk sorun, antropojenik karbondioksitin ne kadarının atmosfere ulaştığının tahmin edilmesidir. Tüm karbon salımımızın yaklaşık yarısının doğal karbon çevrimi tarafından emildiğini ve atmosfer yerine okyanuslara ve yerküre biyosferine ulaştığını öğrenmek sizi şaşırtabilir. Bu da atmosfere ulaşacak karbondioksit miktarını anlamak için günümüzdeki karbon çevrimini anlamamız gerektiğini fark etmeye yöneltiyor bizi.

Yerküre'nin karbon çevrimi hem karbondioksit kaynakları hem de karbondioksitin saklandığı yerler içermesi açısından son derece karmaşıktır. Şekil 23'te küresel karbon depoları Gtc (gigaton, yani 1.000 milyon ton) ve akı (GtC olarak yıllık karbon girişleri ve çıkışları) olarak verilmektedir. Verilen rakamlar, 1980-1989 dönemindeki yıllık ortalamalardır. İçerilen çevrimlerin basitleştirildiği ve rakamların yalnızca ortalama değerleri temsil ettiği unutulmamalıdır. Nehirlerin depoladığı ve aktardığı karbon miktarı, özellikle de bunun antropojenik kısmı şu anda yeterince bilinmemektedir ve burada gösterilmemiştir. Akıların pek çoğunun yıldan yıla önemli düzeyde değişebileceğini gösteren kanıtlar artmaktadır. Bu tür grafiklere yansıyan statik görüntünün aksine, karbon sistemi



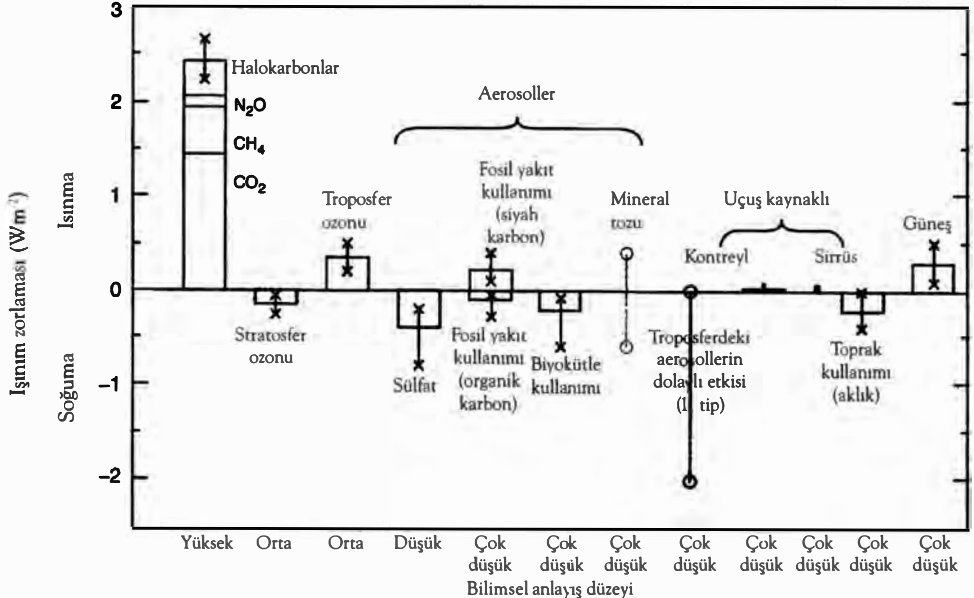
23. Günümüzdeki karbon çevriminin basitleştirilmiş hali.

dinamiktir ve iklim sistemine mevsimsel, yıllık ve onyıllık zaman ölçekleri üzerinden eklenmektedir. En ilgi çekici durum, her yıl sanayi tarafından üretilen karbondioksitin yarısından biraz azını okyanus yüzeyinin emmesidir. Ne var ki bu en az bilinen rakamlardan biridir ve okyanusların kirliliğimiz için böylesine büyük bir hazne olmayı sürdürüp sürdürmeyeceği çok tartışmalı bir konudur. 7. Bölüm'de

de göreceğimiz gibi, yakın zamanlarda karşılaştığımız en büyük sürprizlerden biri, Amazon yağmur ormanlarının atmosferdeki karbondioksitin büyük bir miktarını emiyor olabileceğine işaret eden beklenmedik deney sonuçları oldu. Bu doğruysa, sormamız gereken en önemli soru şu: okyanuslar ve Amazon yağmur ormanları karbondioksit emmeyi daha ne kadar sürdürecek?

Soğutucu etkiler

Yerküre'nin iklim sistemi, sera gazlarının ısıtıcı etkilerinin yanı sıra soğutucu etkilerin de bulunması açısından son derece karmaşıktır (IPCC'nin hem ısıtıcı hem de soğutucu etkiler hakkındaki özeti için bkz. Şekil 24). Bunların arasında havadaki (teknik olarak aerosol adı verilen ve enerji istasyonlarının kükürt salımı gibi insan kaynaklı kirliliğin sonucu olan) parçacıkların oranı da yer alır ve bu parçacıkların Yerküre yüzeyine ulaşan güneş ışınımı miktarı üzerinde doğrudan bir etkisi bulunmaktadır. Aerosoller yerel ya da bölgesel düzeyde sıcaklıkları büyük oranda etkileyebilmektedirler. Hatta AOGCM'lerde küresel ısınmayla ilgili bilgisayar simülasyonlarına artık dahil edilmişlerdir ve gezegenimizin sanayi bölgelerinin neden daha önceden tahmin edildiği kadar ısınmamış olduğu konusunda bir açıklama getirirler. Su buharı bir sera gazıdır, ama aynı zamanda, bulutların üst beyaz yüzeyleri güneş ışınımını yeniden uzaya yansıtır. Bu yansımaya aklık derecesi (albedo) denir – bulutlarla buzun aklık derecesi yüksektir ve bu nedenle, Yerküre yüzeyinden büyük miktarlarda gü-



24. Sanayi öncesi dönemden günümüze kadarki dönemde bazı etkenlere dayalı küresel, yıllık ortalama ışınım zorlamaları.

neş ışıması yansıtırlar. Bulut miktarına ve tiplerine ne olacağının ve gelecekteki küresel buz büyüklüğünün tahmin edilmesi, küresel ısınmanın tam etkisinin hesaplanmasında büyük zorluklar yaratmaktadır. Örneğin kutuplardaki buz katmanının erimesi durumunda bu buzun yerini bitki örtüsü ya da açık su alacağından ve her ikisi de beyaz kar ya da buz gibi ısıyı yansıtmak yerine soğurduğundan, aklık derecesi önemli oranda azalacaktır. Bu da pozitif etki yaratacak ve küresel ısınma etkilerini artıracaktır.

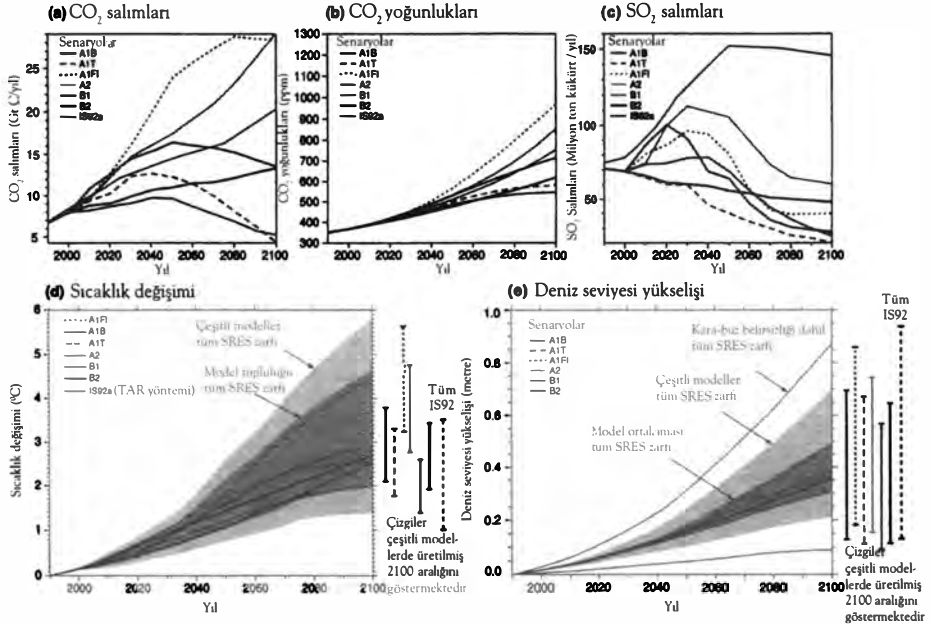
Geleceğe dair ekonomik modeller

Gelecekteki iklimi tahmin etmeye çalışırken karşılaşılan çok önemli bir sorun da, gelecekte üretilecek karbondioksit salımı miktarıdır. Nüfus artışı, ekonomik büyüme, Üçüncü Dünya'nın kalkınması, fosil yakıt kullanımı, alternatif enerjilere geçme hızımız, ormansızlaşma hızı ve salımların azaltılması için uluslararası bir anlaşmaya varılıp varılmayacağı gibi faktörler bunu etkileyecektir. Geleceğe modellemeye çalıştığımız tüm sistemler arasında insan etmeni en karmaşık ve öngörülemez olanıdır. Bir sonraki yüz yılda neler olacağını tahmin etme sorununu anlamak istiyorsanız, 1904 yılında yaşadığınızı ve 2004 yılında dünyanın nasıl olacağı konusunda ne gibi tahminlerde bulunacağınızı hayal edin. Araba kullanımındaki patlamayı ya da uçakların yaygınlaşmasını öngörebilir miydiniz? Daha bundan on yıl önce bile, Avrupa ve ABD'de böylesine ucuza uçmayı mümkün kılan indirimli havayollarını öngörmek çok zor olurdu.

IPCC yukarıdaki etmenlere bağlı olarak geleceğin nasıl olabileceği konusunda 40 yeni senaryo üretti. Bunlar arasında 2100 yılına gelindiğinde atmosferdeki karbondioksitte sanayi öncesi düzeylere kıyasla % 220 düzeyinde artış öngören en kötü durum senaryoları ve 2100'e gelindiğinde hâlâ % 75 düzeyinde artış öngören en iyi durum senaryoları bulunuyor (Şekil 25a). Antropojenik karbondioksit salımının dengelenmesi, hatta azalması durumunda bile, atmosferdeki karbondioksit içeriğinin önümüzdeki 100 yılda yine de artması bekleniyor. Geleceğe dair bu farklı ekonomik modeller ya da görüntüler nedeniyle IPCC geleceği tahmin etmeye çalışmaktan vazgeçip, projeksiyonları ve olası gelecekleri tartışmaya yöneldi. Bjørn Lomborg *The Skeptical Environmentalist* (2001) adlı tartışmalı kitabında IPCC'nin 40 gelecek senaryosu hakkında ilgi çekici ve radikal bir içgörü sunuyor.

Gelecekteki küresel sıcaklıklar ve deniz seviyesi

IPCC 2001 raporu için, 2100'e gelindiğinde oluşabilecek küresel ortalama sıcaklık değişimlerinin tahmin edilmesi amacıyla, gelecekteki karbondioksit salımı senaryoları arasından bazıları seçilip kullanılarak yedi AOGCM çalıştırılmıştır. Bu iklim modelleri, 2100'e gelindiğinde küresel ortalama yüzey sıcaklığının 1,4°C'yle 5,8°C arasında yükselmiş olabileceğini gösteriyor (bkz. Şekil 25). En tepedeki eğride 1990 sonrasında aerosol yoğunluklarının sabit olacağı, yüksek düzeyde iklim duyarlılığı ve karbondiok-



25. 21. yüzyılın küresel iklimi.

sit salımlarında önemli düzeyde artış olacağı varsayımları temel alınmış ve 2100'e gelindiğinde 5,8⁰C düzeyinde bir artışa ulaşılmıştır. En alttaki eğride 1990 sonrasında yoğunluklarının sabit olduğu, ama iklim duyarlılığının çok daha az ve karbondioksit salımlarındaki artışın daha yavaş olduğu varsayılmış ve 1,4⁰C düzeyinde bir artışa ulaşılmıştır. Burada en kaygı uyandırıcı nokta, iki aşırı uçtaki tahminlere bakıldığında IPCC projeksiyonları arasında 4.4⁰C düzeyinde bir fark bulunmasıdır. Ama tüm model tahminlerinin önümüzdeki yüz yıl için küresel sıcaklıklarda artışa işaret ettiği de belirtilmelidir.

IPCC yine farklı karbondioksit salımı senaryoları kullanarak 2100'e dek küresel ortalama deniz seviyeleri için de tahminde bulunmuştur. Modeller iklim duyarlılığı ve buz erimesi parametreleri tahminlerindeki aralıkları dikkate alarak, küresel ortalama deniz seviyesinde 20 cm ile 88 cm arasında bir yükseliş sonucunu veriyor (Şekil 25). 21. yüzyılın ilk yarısı söz konusu olduğunda seçilen salım senaryosunun tahmini deniz seviyesi yükselişi üzerinde görece az bir etkisi olduğunu belirtmeliyiz, çünkü buradaki artış büyük oranda, okyanus-buz-atmosfer iklim sisteminin büyük termal ataletine (yani sıcaklıkta fark edilebilir bir değişim olması için ilk başta çok fazla enerjiye ihtiyaç olmasına) bağlı. Ne var ki buz örtülerinin nasıl tepki verip nasıl eriyeceği belirsiz olduğundan, yüzyılın ikinci kısmında etkisi giderek artıyor. Ayrıca, okyanusların termal ataleti nedeniyle, bu döneme gelindiğinde sera gazı yoğunlukları dengelenmiş olsa bile, 2100 sonrasında da deniz seviyesi yüzlerce yıl boyunca yükselmeyi sürdürecek. Deniz seviyesi hesaplamasında dünyadaki buz örtülerinde ve buzullarda görülebilecek

olası erime dikkate alınmıyor. Buz örtülerinin *tamamen* erimeleri durumunda deniz seviyesindeki yükselişe katkıları şu şekilde olacak: dağ buzulları = 0,3 m, Batı Antarktika Buz Örtüsü = 8,5 m, Grönland = 7 m, Doğu Antarktika Buz Örtüsü = 65 m. Asıl kaygı uyandırıcı noktaysa, NASA uydu ölçümlerinin hem Grönland hem de Batı Antarktika Buz Örtülerinin küçülmekte olduğuna işaret etmesi. Bu durum yeterince erime suyu üretirse gelecekte büyük sürprizlerle karşılaşabiliriz; bunları 7. Bölüm'de tartışacağız. Önümüzdeki yüz yıldan sonra Grönland ve Antarktika Buz Örtülerine ne olacağı konusunda da bilimsel bir tartışma var. Kimi bilim adamları bu buz örtülerinin geleceğini önümüzdeki on yılda olacakların belirleyeceğine inanıyorlar. Bir tahminc göre Grönland Buz Örtüsü önümüzdeki yüz yıl içinde parçalanacak olmasa da küresel ısınma geri dönüşü olmayan bir süreç başlatacak ve önümüzdeki bin yıl içinde Grönland'da buz kalmayacak.

Kuşkucular ne diyor

Gelecekteki küresel ısınmayı modellemede karşılaşılan sorunları özetlemenin en iyi yollarından biri, kuşkucuların ne dediklerine bakmak olacak; çünkü pek çok geçerli noktaya parmak basıyor ve modellerimizi geliştirirken dayanacağımız bir temel sunuyorlar.

1. Bulutların küresel iklim üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri olabilir; küresel ısınmanın etkilerini göz ardı edilebilir bir miktara indirmeyeceklerini nereden biliyoruz?

İlk IPCC 1990 raporundan bu yana olduğu gibi, gelecek tahminlerindeki en büyük belirsizlik, bulutların rolü ve ışımayla aralarındaki etkileşimdir. Bulutlar ışımayı hem soğurup yansıtabilir ve böylece yüzeyi soğutabilir, hem de uzun dalga ışımasını soğurup yayabilir ve böylece yüzeyi ısıtabilirler. Bu etkiler arasındaki rekabet çeşitli etmenlere bağlıdır: bulutların yüksekliği, kalınlığı ve ışıma özellikleri. Bulutların ışıma özellikleriyle oluşum ve gelişimleri atmosferdeki su buharı, su damlası, buz parçacıkları dağılımına, atmosferdeki aerosollere ve bulut kalınlığına bağlıdır. Bulutlardaki su denklemlerine bulutların mikrofiziksel özelliklerinin toplu temsillerinin eklenmesi sayesinde, AOGCM'lerde bulutların temsil ediliş ya da parametreleştiriliş biçimlerinin fiziksel temeli konusunda büyük ilerleme kaydedildi. Ne var ki bulutlar yine de, iklim simülasyonlarında önemli bir olası hata kaynağı oluşturuyorlar. Bulutların gezegenin ısınmasına mı yoksa soğumasına mı katkıda bulundukları hâlâ tartışmalı ve çeşitli AOGCM'lerde her iki senaryoya da rastlanıyor. Ama bulutların soğutma etkisi gösterdiği AOGCM'lerde bile bu etkinin öteki ısıtıcı eğilimlere karşı koyacak derecede güçlü olmaması ilgi çekici bir nokta.

2. Farklı modeller farklı sonuçlar verdiğine göre, bu modellerden herhangi birine nasıl güvenebiliriz?

Bilimin bir şekilde kesin bir gelecek tahmininde bulunması gerektiğine inanıldığından, modelleme konusuna aşina olmayanlardan çok sık gelen bir tepkidir bu. Ama yaşamın başka hiçbir alanında böyle bir kesinlik bekleme-

yiz. Örneğin bir yarışı hangi atın kazanacağı ya da hangi futbol takımının maçı alacağı konusunda mükemmel bir tahmin elde etmeyi beklemezsiniz. Gerçek şu ki, iklim modellerinin hiçbiri tam olarak doğru değil. Ama bize, gelecek konusunda elimizdeki en iyi tahmini sunuyorlar. Artık birden fazla modelin kullanılması bu gelecek görüntüsünü güçlendiriyor, çünkü her bir model tüm dünyadan farklı bilim adamı grupları tarafından, farklı varsayımlar ve bilgisayarlar kullanılarak geliştiriliyor ve böylece hepsi kendi gelecek tahminlerini sunmuş oluyor. Bilim adamlarının model sonuçlarına inanmalarının nedeni, önümüzdeki yüz yıl için küresel sıcaklık ve deniz seviyesi konusunda hepsinin kabaca aynı eğilime işaret etmeleridir. Bu yaklaşımın bir başka güçlü yönü de, bilim adamlarının model sonuçlarına ne derece güvenebildikleri konusunda yaklaşık bir değer ve ayrıca, olası tahminler aralığı verebilmeleridir. Bilim adamlarının neyin ne zaman olacağı konusunda kesin bir tahmin verdikleri gün, tam da 1929'daki çöküşten önce sanki borsa hiç inişe geçmeyecekmiş gibi ABD borsasına yatırım yapmak gerektiğinin söylenmesi, ya da 1980'lerin başlarında İngiltere'de "mortgage" kredisi alınması ve emlak piyasasının asla çökmeyeceğinin söylenmesi gibi, tüm güvenilirliklerini yitirecekleri gün olacaktır.

3. İklim modelleri ani hava durumu şartlarının tahmininde başarılı olamıyor.

AOGCM'lerin ani hava durumu olaylarını tahmin edememelerinin nedeni, uzamsal çözünürlüklerinin çok kaba olmasıdır; örneğin Britanya Adalarının tamamı on

noktayla temsil edilir. Bu da kuşkucuların, günlük hava durumunu etkileyen rasgele ya da kaotik etmenlerin aynı zamanda iklimimizi de etkilemesi gerektiği suçlamasında bulunmalarına neden olmuştur. Yerküre'nin iklim sistemi başlangıç şartlarından son derece küçük sapmalara karşı bile hassas olduğundan, hava durumu modellerinin kaotik olduğu 1960'ların sonlarından beri bilinmektedir. Örneğin ABD üzerindeki hava basıncındaki son derece küçük değişimler bir kasırganın yönünü ve süresini etkileyebilmektedir. Bu hassasiyetin ayrıntılı hava durumu tahminlerinin öngörülebilirliğini yaklaşık iki haftayla sınırlandırdığını hepimiz biliriz; kimi zamansa bu süre daha çok iki gün gibidir. Ama atmosfer üzerindeki daha uzun vadeli sistematik etkiler başlangıç şartlarına bağlı olmadığından, iklimin öngörülebilirliği hava durumu tahminiyle aynı biçimde sınırlı değildir. Bu nedenle bölgesel ve küresel iklimdeki uzun vadeli eğilimler küçük ölçekli etkilerin kontrolünde değildir. Ama küresel ısınma kuramına kuşkuyla bakanların haklı oldukları nokta, gelecekte oluşabilecek "çizgisel olmayan olaylar"ı, yani ani olarak nitelendirilen iklim değişikliklerini henüz modelleyemediğimizdir. Bu olası sürprizleri 7. Bölüm'de tartışacağız.

4. İklim modelleri doğal değişkenliği yeniden kurmakta ya da tahmin etmekte başarısızdır.

Küresel iklim sisteminde, onyıllık ya da daha kısa süreli zaman ölçeklerinde gerçekleşen döngüsel değişkenlikler görülür. Bunların arasında en ünlüsü, Pasifik bölgesinde hem okyanus hem de atmosfer dolaşımında gerçekleşen

bir değişim olan, her üç ila yedi yılda bir görülen ve küresel iklimin geri kalanı üzerinde büyük bir etki gösteren El Niño'dur. Kuşkucular iklim modellerinin geçmişteki bu olayları tatmin edici biçimde taklit edememiş olduğunu savunuyorlar. Ne var ki, bölgesel iklim üzerinde büyük bir etkileri olduğunun giderek daha iyi fark edilmesiyle birlikte, El Niño-Güney Salınımı (ENSO), Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) ve bağlantılı Kuzey Buz Denizi Salınımı'nda (AO) geçmişte görülen bu değişkenliklerin yeniden kurulmasında iklim modellerinin giderek daha başarılı oldukları gözlenmektedir (daha fazla ayrıntı için bkz. 6. Bölüm, El Niño-Güney Salınımı bölümü). Modellerin çoğu bu doğal değişkenlikleri betimleyebilmekte, özellikle de Pasifik Okyanusu'nda görülen 1976 iklim değişikliğini ortaya çıkarabilmektedir. Tüm AOGCM'ler önümüzdeki yüz yıl için ENSO ve NAO'nun yol açacağı sonuçları tahmin etmişlerdir. Ama model tahminlerine güvenilebilmesi için daha pek çok geliştirim yapılması gerekmektedir. Yine de bu kısa vadeli salınımlarda gelecekte görülecek eğilimleri yeniden kurabilmeleri ve öngörebilmeleri, AOGCM'lerin gerçekçiliğinin kanıtıdır.

5. Termohalin dolaşımı iklim modellerinde uygun şekilde temsil edilmemiştir.

Dünyamızdaki okyanusların derin okyanus, yani termohalin dolaşımı (THC) birleştirilmiş Atmosfer-Okyanus GCM'lerinin temel yapı taşlarından biridir ve dolayısıyla, günümüz ve geçmiş için yapılan termohalin dolaşım simülasyonları son derece iyidir. Ama derin su oluşumunun

belirlenmesindeki, alçak enlemlerdeki ısınma ve buharlaşmayla yüksek enlemlerdeki soğuma ve yağışta artış arasındaki geniş ölçekli atmosferik zorlama kaynaklı etkileşimi de içeren karmaşıklıklar THC'lerin modellenmesinde çeşitli belirsizlikler yaratmaktadır. Ayrıca, ENSO da tropik Atlantik'in tatlı su dengesini değiştirerek bir rol oynayabilir. Buna hem siller üzerindeki ve dar boğazlardan geçen küçük ölçekli akışların, hem de okyanus konveksiyonunun temsilindeki, modellerin THC'de önemli düzeyde değişim içeren şartları taklit etme kapasitelerini daha da kısıtlayan belirsizlikleri de ekleyin. Bu nedenle AOGCM'lerden elde edilen gelecek tahminlerinin çoğunda, bugünküne benzer bir THC görülmektedir. 7. Bölüm'de de göreceğimiz gibi, bu varsayım tamamen yanlış olabilir.

6. AOGCM'ler geçmişteki iklimi, özellikle de son buz çağını yeniden kurmayı başaramıyor.

Geçmişteki iklimler küresel iklim modelleri için önemli bir testtir. Hakkında elimizde pek çok iklim yeniden kurulumu bulunan en büyük iklim kayması, yaklaşık 10.000 yıl önce sona ermiş olan son buz çağıdır. Buz çağının yaklaşık 18,000 yıl önceki en aşırı evresi hakkındaki paleoiklim verileriyle yapılan kıyaslamalar, küresel iklim modellerinin biraz muhafazakâr olduğuna işaret etmektedir. Hatta en iyi model yeniden kurulumlarında, vekil verilere dayanılarak yeniden kurulan iklim değişikliklerinin yalnızca dörtte üçü görülmektedir. Bu da iklim modellerimizi geçersiz kılmak yerine, ilk olarak, buz çağının aşırı şartları –deniz seviyesi 120 metre daha düşük, Amerika ve Avrupa'da 3 kilometre

yüksekliğinde buz örtüleri, atmosferdeki karbondioksit düzeyi üçte bir oranında daha düşük, metan oranıysa yarıya inmiş durumda– konusunda modellerin % 75'lik doğruluk oranına ulaştığını göstermektedir. İkinci önemli gözlemse modellerin muhafazakâr olduğu ve iklim değişikliklerini sistematik olarak, olduğundan hafif tahmin etmiş olduklarıdır. Bu da gelecekteki iklime dair tahminlerin de muhafazakâr olduğunu ve dolayısıyla, iklim değişikliğinin tahminlerin üst ucunda yer alabileceğini varsayabileceğimiz anlamına gelmektedir.

7. Şu andaki iklim modellerinde galaktik kozmik ışınlar (GCR'ler) göz ardı ediliyor ve bu da modelleri geçersiz kılıyor.

Galaktik kozmik ışınlar atmosferde iyonlaşmaya neden olan ve bu nedenle bulut oluşumunu etkileyebilecek yüksek enerjili parçacıklardır. Güneş fırtınasının etkisi nedeniyle GCR'ler güneş değişkenliğiyle ters orantılı değişkenlik gösterirler. İklim biliminin yeni bilgiler keşfedip, bu bilgiler yeterince önemliyse iklim modellerine ekleyerek nasıl ilerlediğine mükemmel bir örnektir bu. Yeni keşfedilen bu dışsal zorlama, yani GCR'ler hakkında pek az şey bilinmektedir ve bu nedenle, iklim modellerine eklenmesini gerektirecek kadar büyük bir etkisinin olup olmadığının anlaşılması amacıyla bu olgu hakkındaki araştırmalar sürdürülmektedir. GCR'ler ne yazık ki, iklim sistemimizin en az anlaşılmış süreçlerinden birini etkilemektedir –bulut oluşumunu. Ama GCR'lerin iklimi etkileyebileceğinin keşfedilmesi iklim modellerini geçersizleştirmez, çünkü

bunların hepsi bilimin ilerlemeci doğasının bir parçasıdır. İklim sistemi konusunda her şeyi bilmiyoruz ve asla da bilemeyeceğiz. Bilim ilerledikçe bizim bu konudaki anlayışımız da ilerleyecek. Bu nedenle geleceğe dair model öngörüleri sürekli gelişiyor. Ama bu modellerin iklim sistemi konusundaki şu andaki anlayışımıza dayandığı ve gelecekte mutlaka değişeceği de unutulmamalıdır.

VI. Bölüm

KÜRESEL ISINMANIN GELECEKTEKİ OLASI ETKİLERİ NELERDİR?

Daha önceki bölümlerde de tartışılmış olduğu gibi, insanlığın sera gazı salımlarının iklimimizi daha şimdiden etkilemeye başladığını düşündüren güçlü kanıtlar bulunmaktadır. En gelişmiş ve güçlü bilgisayar modelleri, 21. yüzyıl sonuna gelindiğinde küresel ısınmanın çok önemli iklim değişikliklerine yol açmış olacağına işaret ediyor. Bu değişikliklerin hem doğal çevre hem de insan toplumları ve ekonomilerimiz üzerinde geniş çaplı etkiler yaratması mümkün. Çeşitli sosyo-ekonomik kesimler üzerinde oluşabilecek doğrudan etkiler konusunda tahminler yapılıyor, ama aslında, bir kesim üzerindeki etkilerin başka kesimleri de dolaylı olarak etkilemesi mümkün olduğundan, tam etkilerin öngörülmesi son derece karmaşık bir iş. Olası etkilerin değerlendirilebilmesi için özellikle de ulusal ve yerel seviyelerdeki iklim değişikliğinin kapsamının ve boyutunun tahmin edilmesi gerekiyor. Örneğin en son IPCC 2001 raporları bu etkileri kıta düzeyinde inceliyor. ABD'deki

iklim değişikliğini değerlendiren ve etkileri bölge bazında ele alan Ulusal Değerlendirme Sentez Ekibi 2001 gibi, bazı mükemmel ulusal raporlar da var. İklim sisteminin ve iklim değişikliğinin anlaşılması konusunda büyük ilerleme kaydedilmiş olmasına karşın, iklim değişikliğine ve değişikliğin etkilerine dair projeksiyonların özellikle de bölgesel ve yerel düzeyde hâlâ çok büyük belirsizlikler içerdiği unutulmamalıdır. Küresel ısınma konusundaki en büyük sorun, geleceği öngörememememizdir. İnsanın Kuzey Kutbu'ndan Sahra'ya aşırı iklim şartlarında yaşamayı, hayatta kalmayı ve hatta daha da iyi duruma gelmeyi başarabildiğinin açık olmasına karşın, yerel iklime dair öngörülebilir aşırı şartların da aşılması sorun yaratmaktadır. Gelecekte yaşanacak iklim değişikliği sorunlarının pek çoğu suyla, yani genellikle beklenen miktara kıyasla ya çok fazla ya da çok az su olmasıyla bağlantılıdır. Ne yazık ki yağıştaki değişikliklerin öngörülmesi sıcaklık tahmininden bile zordur. Ama küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin göreceli etkisini en çok etkileyen şey, gelecekte bölgesel ekonomilerin nasıl gelişip uyum sağlayacaklarıdır. Bu nedenle, aşağıda tartışılan etkilerin tümü, küresel ekonomide gerçekleştirilecek değişimler sayesinde önemli oranda azaltılabilir.

IPCC 2001 raporunun tahminine göre, 2100 yılına gelindiğinde küresel ortalama yüzey sıcaklığı 1,4 ila 5,8^0 C arasında yükselebilir ve bu da, 2100 yılına gelindiğinde küresel ortalama deniz seviyesinin 20 ila 88 cm arasında yükselmesi anlamına gelir. Gelecekte yaşanacak iklim değişikliği kıyı bölgeleri, fırtına ve seller, sağlık ve su kaynakları, tarım ve biyolojik çeşitlilik gibi, insan toplumunu etkileyen tüm unsurlar üzerinde etkili olacaktır. Aşağıda

kaygı uyandıran başlıca alanların her biri ve IPCC değerlendirmelerine göre iklim değişikliğinin olası etkisi incelenmektedir. İklim değişikliğinin aniden gerçekleşmesi durumunda karşı karşıya kalınacak etkiler ise değerlendirilememektedir. Bu konu 7. Bölüm'de tartışılacaktır.

Kıyı şeridi

Daha önce de görmüş olduğumuz gibi IPCC, işlerin her zamanki gibi gitmesi (yani fosil yakıt kullanımında artışın sürmesi) senaryosunda deniz seviyesinin, temelde okyanuslardaki termal genişleme nedeniyle, önümüzdeki 100 yılda 20 ila 88 cm yükselebileceğini bildirmektedir. Kıyılarda fırtına ve sellere karşı alınmış önlemlerin etkinliğini azaltıp yar ve kumsallarda dengesizliği artıracağından, tüm kıyı alanları için çok büyük bir kaygı konusudur bu. Britanya, ABD ve gelişmiş dünyanın geri kalan kısmında bu tehlikeye karşı verilen tepki kıyılardaki mülkleri çevreleyen deniz setlerini biraz yükseltmek, daha düşük kalitedeki bazı tarım alanlarını (koruma maliyetini üstlenmeye artık değmediğinden) denize terk etmek ve doğanın denize karşı en güçlü savunma yolu olan kıyı bataklıkları için yeni hukuki koruma yolları benimsemek olmuştur. Ancak duruma küresel düzeyde bakıldığında, küçük adalarda ve nehir deltalarında kurulu bazı küçük ülkelerin çok daha ciddi bir durumla karşı karşıya oldukları görülmektedir.

Hint Okyanusu'ndaki Maldivler ve Pasifik'teki Marshall Adaları gibi küçük ada ülkeleri için deniz seviyesindeki 1 metrelik yükseliş, karaların % 75'inin su altında

kalması ve adaların yaşanamaz hale gelmesi demektir. Dünyada kişi başına en yüksek fosil yakıt salımı oranlarının bazılarının turizme dayanan bu ülkelerde görülmesi ilginçtir. Ne var ki nüfusun önemli bir bölümünün nehir deltalarında yaşadığı ülkeleri göz önüne aldığımızda öykünün ilginç bir yönüyle karşılaşıyoruz; bu ülkeler arasında örneğin Bangladeş, Mısır, Nijerya ve Tayland yer alıyor. 1994 tarihli bir Dünya Bankası raporunun sonucuna göre, deltalarda tatlı su çekimi gibi insan faaliyetleri, bu alanların deniz seviyesindeki herhangi bir tahmini yükselişe göre çok daha hızlı çökmesine yol açarak, fırtına ve sellere karşı korumasızlıklarını artırmaktadır.

Bangladeş örneğine bakarsak, bu ülkenin dörtte üçünden fazlası Ganj, Brahmaputra ve Meghna nehirlerinin birleşmelerinin oluşturduğu delta bölgesinde yer almaktadır. Ülkenin yarısından fazlasının deniz seviyesinden yüksekliği 5 metreden azdır; bu nedenle sel sık görülür. Yaz musonları sırasında ülkenin dörtte biri sel altında kalmaktadır. Ama tıpkı Nil'de olduğu gibi bu seller de beraberlerinde yıkım kadar yaşam da getirir. Su toprağı sularken mil de gübre işlevi görür. Verimli Bengal Deltası 140 bin kilometrekare üzerinde yaşayan 110 milyonu aşkın bir nüfusla, dünyanın en yüksek nüfus yoğunluklarından birini beslemektedir. Ama 1990'lı yıllar boyunca muson selleri giderek kötüleşti. Bengal Deltası'nın yılda 1 milyar tondan fazla tortula ve bin kilometreküp tatlı suya ihtiyacı var. Bu tortul, hem doğal süreçler hem de insan faaliyetleri sonucunda deltada oluşan erozyonu dengeliyor. Ama sulama amacıyla Hindistan'da Ganj Nehri Hooghly Kanalı'na yönlendirildi. Tortul girişinin azalması deltanın alçalma-



26. Bangladeş'te 1998'de yaşanan sel. Deniz seviyesinin yükselmesi ve musonların sertleşmesi sonucunda bu sahnelere giderek daha sık tanık olabiliriz.

sına yol açıyor. Tarımda ve içme suyu olarak kullanmak amacıyla deltadan hızla tatlı su çekilmesiyse sorunu daha da ağırlaştırıyor. 1980'lerde 100.000 borulu kuyu ve 20.000 derin kuyu açılarak tatlı su çekimi altı kat artırıldı. Bu projelerin ikisi de bu bölgede yaşayanların yaşam kalitesinin yükseltilmesinde temel önem taşıyor, ama aynı zamanda yılda 2,5 cm düzeyinde bir çökme düzeyi yarattı ve bu da dünyadaki en yüksek düzeylerden biri. Dünya Bankası çökme düzeyi ve küresel ısınmaya bağlı deniz seviyesi yükselmesi tahminlerini kullanarak, 21. yüzyıl sonuna gelindiğinde Bangladeş'te göreceli deniz seviyesinin 1,8 metre yükselebileceği tahmininde bulunmuştur. En kötü durum senaryosuna göre bunun, nüfusun % 13'ünü besleyen ve şu andaki gayri safi yurtiçi hasılanın % 12'sini üreten %16 oranında bir toprağın kaybına neden olacağı tahmin ediliyor. Mangrov ormanında ve bağlantılı balık tarlalarında oluşan yıkım bu senaryoda ne yazık ki hiç dikkate alınmamıştır. Üstelik, karalara tuzlu su girişinin artması su kalitesine ve tarıma daha da fazla zarar verecektir. Bu en kötü durum senaryosudur ve göreceli deniz seviyesi yükselişinin büyük bölümünün nedeni küresel ısınma değildir.

Tehdit altındaki kıyı şeridi örneklerinden bir diğeri de, Yerküre'nin yoğun olarak ekilip biçilen en eski alanlarından biri olan Nil Deltası'dır. Bu kalabalık bölgede nüfus yoğunluğu kilometrekarede 1.600 kişiye ulaşabilmektedir. Alçak, verimli taşkın ovalarının etrafı çöllerle sarılıdır. Mısır'ın kara alanlarının yalnızca % 2,5'luk bir bölümü, yani Nil deltasıyla Nil vadisi yoğun bir tarıma uygundur. Kıyı boyunca uzanan 50 kilometre genişliğindeki kara şeridinin büyük bölümünün deniz seviyesinden yüksekliği 2

metrenin altındadır ve taşkınlardan yalnızca, Nil'in Reşid ve Dimyat kollarının boşalmasıyla şekillenen, 1-10 kilometre genişliğinde bir kıyı kum kuşağıyla korunmaktadır. Koruyucu kum kuşağındaki erozyon ciddi bir sorundur ve Mısır'ın güneyinde Assuan barajının inşa edilmesinden bu yana hızlanmıştır. Deniz seviyesinin yükselmesi, lagünlerin ve ıslah edilmiş alçak alanların korunmasında temel önem taşıyan kum kuşağının zayıf kısımlarını yok edecektir. Bunun etkisi son derece ciddi olabilir. Mısır'da balık avcılığının yaklaşık üçte biri lagünlerde yapılmaktadır ve deniz seviyesindeki yükseliş su kalitesini değiştirip tatlı su balıklarının çoğunu etkileyecek, değerli tarım topraklarını su basacak, İskenderiye ve Port Said'de alçak yerlerdeki yaşamsal tesislerle eğlence turizmine yönelik sahil tesisleri tehlike altına girecek ve yeraltı suyunda tuzlanma oluşacaktır. Setler ve koruyucu önlemlerle 50 santimetrelik deniz seviyesi yükselişine dek en kötü taşkınlar engellenebileceğinden, bu etkiler önlenebilirdir. Ancak yeraltı suyunda hâlâ ciddi düzeyde tuzlanma oluşabilir ve dalga yoğunluğunun artmasının etkisi de ciddi düzeyde olacaktır.

Deniz seviyesindeki yükselişin kıyı bölgelerinde yol açacağı tahribatı en çok etkileyen, değişimin hızıdır. Kıyı bölgelerinin korunması ve gerekli uyarlanmaların gerçekleştirilmesi konusunda planlama yapılması için gerekli ekonomik öngörünün gösterilebilmesi durumunda, önümüzdeki yüz yılda görülmesi beklenen 50 santimetrelik yükselişle baş edilmesi mümkündür. Bunun için de bölgesel ekonomilerin gelişmesi ve gerekli değişimlerin yapılabilmesini sağlayacak kaynakların bulunması gerekmektedir. Önümüzdeki yüz yıl içinde deniz seviyesi IPCC'nin

olası görmemesine rağmen 1 metreden fazla yükselirse, insanlık bu duruma uyum sağlamakta çok zorlanacaktır.

Fırtına ve seller

Fırtına ve seller, 1951'le 1999 arasındaki doğal felaket kaynaklı ölümlerin % 52'sinden, küresel sigortalı hasarların % 76'sından, ekonomik kayıpların % 58'inden sorumlu büyük doğal tehlikelerdir. Bu nedenle, gelecekte neler olabileceğini bilmemiz çok büyük önem taşımaktadır. Tarihsel kayıtlardan, hızlı iklim değişikliği dönemlerinde hava durumu modellerinin değişken olabildiğini ve fırtına sayısının artabildiğini biliyoruz. Bunun örneklerinden biri, 16. yüzyıl sonuyla 18. yüzyıl başı arasındaki, daha çok donmuş Thames Nehri üzerinde gerçekleştirilen buz panayırlarıyla hatırlanan Küçük Buz Çağı'dır. Küçük Buz Çağı'na girilirken ve çıkılırken Avrupa'da felaket düzeyinde fırtınalar görüldüğüyse hiç hatırlanmaz. Örneğin Küçük Buz Çağı'nın sonunda, 1703 yılında havanın en nihayet ısınmaya başladığı sırada Britanya tarihindeki kaydedilmiş en kötü fırtına 8.000'den fazla kişinin ölümüne neden oldu. Özellikle de kuzey yarıküredeki ılıman bölgelerde son elli yılda daha fazla fırtına çıktığını gösteren bazı kanıtlar var. Önümüzdeki yüz yıl için, orta enlem bölgelerinde yaşanacak fırtınaların geleceğine dair model simülasyonları arasında büyük farklılıklar görülüyor. Ama bilgisayar modelleri ağır düzeyde yağış olarak görülen yağış miktarının arttığına ve artmayı sürdüreceğine işaret ediyor; aynı durum yıldan yıla görülen değişkenlik için de geçerli. Bu da sel olaylarının sıklığını artıracaktır.

Dünya nüfusunun beşte ikisi, yaşam kaynağı yağmurları getiren muson kuşağında yaşamaktadır. Muson oluşumunun nedeni, kıtalarla okyanuslar arasındaki sıcaklık farkıdır. Örneğin, kuzey yarıkürede yaz aylarında kara kütlelerinin komşu okyanustan çok daha fazla ısınmasıyla birlikte Hint Okyanusu'ndan Asya kıtasına ve Atlantik Okyanusu'ndan Batı Afrika'ya nem yüklü yüzey havası eser. Kış aylarında kıtalar komşu okyanuslardan daha soğuk olur ve yüzeyde yüksek basınç oluşur, bu da yüzey rüzgârlarının okyanusa doğru esmesine yol açar. İklim modelleri önümüzdeki yüz yılda küresel ısınmanın sonucu olarak yaz musonlarının şiddetinde artış görüleceğine işaret ediyor. Bunun olacağına işaret eden üç neden bulunmaktadır: 1) Küresel ısınma yaz aylarında kıtaların okyanustan daha fazla ısınmasına yol açacak ve bu da, muson sisteminin ardındaki başlıca itici güçtür. 2) Daha sıcak bir dünyada beklendiği üzere Tibet üzerindeki kar örtüsünün azalması karayla deniz arasındaki bu sıcaklık farkını yükselterek Asya'da yaz aylarının şiddetini artıracak. 3) İklimin sıcaklaşması havanın daha fazla su buharı tutabilmesi anlamına gelir ve bu nedenle, muson rüzgârları daha fazla nem taşıyabilecektir. Asya yaz musonları için bu, ortalama yağışta % 10-20 düzeyinde bir artış, yıllar arasında % 25-100 oranında bir değişkenlik ve ağır yağışlı günlerin sayısında çarpıcı bir artış anlamına gelebilir. Model bulguları arasında en kaygı uyandırıcı olanı, yıllar arasında yağmur değişkenliğinde öngörülen artıştır; iki katı oranlara varabilecek bu artış, her yıl ne kadar yağış görüleceğinin tahmin edilmesini son derece zorlaştırmaktadır – ve bu da çiftçiler için çok önemli bir bilgidir. Meteoroloji Dairesi Hadley

Merkezi'nin GCM'sinin yağışlarda Amazon bölgesinde düşüş, öteki muson sitemlerindeyse artış öngören tahmini, bu artış konusunda bir istisnadır. Bu vaka çalışması bir sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak tartışılacak.

Son yüz yıla bakıldığında kasırga ya da siklon sayısında artışa dair bir kanıt görülmemesi iyi bir haber. Gelecekteki kasırga sıklığı ve yoğunluğu konusundaki model tahminlerinin çoğu muğlaktır ve bazıları artışa, bazılarıysa azalışa işaret etmektedir. Tahminlerin çoğu onyıllık ve daha uzun süreli değişkenliklerin, küresel ısınmanın neden olduğu herhangi bir eğilimden çok daha fazla olacağını düşündürmektedir.

Önümüzdeki yüzyılda kasırga ve tropikötesi siklon sayısı ve yoğunluğu artmasa bile, tahmin kapasitemiz hem iklim sisteminin temel fiziğine hem de geçmişteki hava durumu olaylarında gözlenen tekrarlayan modellere bağlı olduğundan, küresel ısınma bu olayları öngörebilme yeteneğimizi etkileyebilir. Örneğin fırtınalara geçmişteki sıklıklarına bağlı olarak bir dönüş zamanı atfedilir. Bu da kıyı setlerinin, nehir taşkınlarının kontrolünün ve su rezervlerinin yönetimi için bir yöntem sunar. Bu dönüş zamanlarının öngörülemez hale gelmesi durumunda, fırtına ve taşkın olaylarıyla başa çıkabilmek için yeni yöntemlerin benimsenmesi gerekecektir. Daha sıcak bir dünyada fırtına oluşumunda ve öteki aşırı iklim olaylarında yıldan yıla görülen değişkenliğin artacağına işaret eden pek çok iklim modeli de bu görüşü desteklemektedir. Buna verilebilecek örneklerden biri, Britanya'nın tek bir ay içinde, her ikisi de 30 yılda bir görülen olaylar kategorisinde sınıflandırılan iki sel olayını birden yaşadığı 2000 kışıdır. Burada da çoğu

gelişmiş ülkede bu değişkenlik artışıyla başa çıkmak için benimsenecek düşük maliyetli seçenek hava durumu tahminlerinin geliştirilmesi, inşaat yönetmeliklerinin sıkılaştırılması, kıyı bölgelerinin ve taşkın ovalarının kullanımı konusunda daha sert kontroller getirilmesi ve kıyı bataklıklarının daha fazla korunmasıdır.

İnsan yaşamı kaybı açısından fırtına sıklığı ve yoğunluğu yegâne belirleyici etmen değildir. Bir fırtınanın neden olduğu ölüm sayısı ve hasar maliyetinde en önemli belirleyici unsur, etkilenen bölge ya da ülkenin gelişmişlik düzeyidir. Bunu, 1990'larda yaşanan en kötü iki kasırgayı birbirleriyle kıyaslayarak gösterelim. Ağustos 1992'de Andrew Kasırgası ABD'yi vurdu ve tahminen 20 milyar dolar gibi rekor düzeyinde bir hasar yarattı, ama yalnızca 53 kişinin ölümüne neden oldu. 1998'deyse Orta Amerika'yı vuran Mitch Kasırgası en azından 20.000 kişinin ölmesine, 2 milyon kişinin evsiz kalmasına neden oldu ve bölgenin ekonomik büyüme düzeyini onlarca yıl geriye götürdü. Bu nedenle, küresel ısınma tüm dünyada fırtına sayısını artırsa bile, yoksul ülkelerin ekonomik açıdan gelişmesi ölüm oranını büyük bir hızla düşürebilir; ama aynı şekilde, fırtına kaynaklı hasar maliyetini de yükseltecektir.

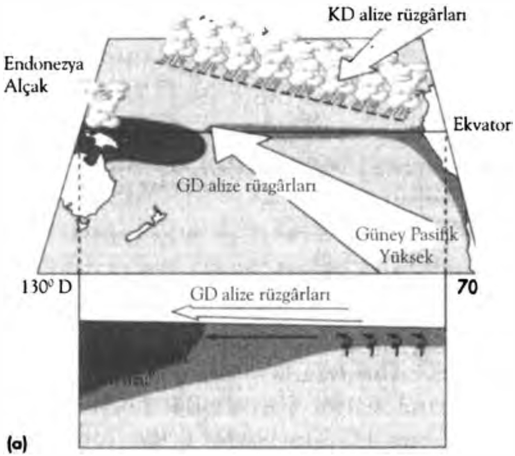
El Niño-Güney Salınımı

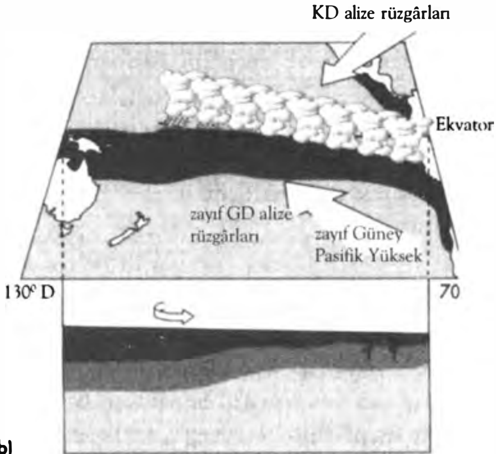
Küresel iklimin en önemli ve gizemli unsurlarından biri, Pasifik'teki okyanus akıntılarının ve rüzgârlarının yön ve yoğunluğundaki periyodik değişimdir. Genellikle Noel'de görüldüğünden El Niño (İspanyolca'da "çocuk İsa") ola-

rak bilinen ve artık daha çok ENSO (El Niño-Güney Salınımı) olarak adlandırılan bu olgu tipik olarak her üç ila yedi yılda bir görülmektedir. Birkaç ayla bir yıldan fazla bir süre arasında devam edebilir. 1997-1998 El Niño şartları kaydedilen en şiddetli şartlardı ve ABD, Doğu Afrika, kuzey Hindistan, kuzeydoğu Brezilya ve Avustralya'da kuraklığa neden oldu. Endonezya'da aşırı kuraklık yüzünden orman yangınları kontrolden çıktı. Kaliforniya'da, Güney Amerika'nın bazı yerlerinde, Sri Lanka'da ve doğu-orta Afrika'da şiddetli yağmurlar ve korkunç seller yaşandı.

ENSO üç iklim, yani "normal" şartlar, La Nina ve El Niño arasındaki bir salınımdır (bkz. Şekil 27). El Niño şartlarıyla musonlardaki ve fırtına modellerindeki değişiklikler ve tüm dünyada görülen kuraklık olayları arasında bağlantı kurulmuştur. ENSO aynı zamanda, Atlantik'te görülen kasırgaların konumu ve oluşumuyla da bağlantılıdır. Örneğin, Mitch Kasırgası'nın karaya nereden gireceğinin başarıyla tahmin edilememesinin nedeninin ENSO şartlarının dikkate alınmaması ve güçlü alize rüzgârlarının fırtınanın öngörüldüğü gibi batı yerine Orta Amerika üzerinden güneye sürüklenmesine katkıda bulunması olduğu düşünülmektedir.

El Niño olaylarının öngörülmesi çok zordur, ama bu alanda sürekli ilerleme kaydedilmektedir. Örneğin, şu anda Pasifik Okyanusu üzerinde hem okyanus hem de uydu izleme sistemlerinden oluşan büyük bir ağ var ve bu ağ temelde, ENSO'nun durumuna dair başlıca gösterge olan deniz yüzeyi sıcaklığını kaydetme amaçlı. Bu iklim verileri hem bilgisayarlı dolaşım modellerinde hem de istatistiksel modellerde kullanılarak, bir El Niño ya da La Nina olayı yaşanması olasılığı konusunda tahminler yapı-





27. El Niño-Güney Salınımı (ENSO) a) normal şartlar b) El Niño şartları.

lıyor. ENSO olgusu konusundaki anlayışımızı ve tahmin yeteneğimizi geliştirme açısından hâlâ emekleme çağında olduğumuzu söyleyebiliriz.

ENSO'nun küresel ısınmadan etkilenip etkilenmediği de çok tartışılıyor. El Niño şartları genellikle her üç ila yedi yılda bir oluşuyor; ama dört yılın üçünde dönüş yaptıklarını da gördük: 1991-1992, 1993-1994 ve 1994-1995. El Niño 1997-1998 döneminde geri dönerek küresel hava durumunu altüst etti. Batı Pasifik'teki mercan resifleri kullanılarak yapılan geçmiş iklim yeniden kurulumlarında 150 yıl öncesine, yani bizim tarihsel kayıtlarımızdan çok öncesine dayanan deniz yüzeyi sıcaklığı değişkenlikleri görülmektedir. Deniz yüzeyi sıcaklığı okyanus akıntılarındaki değişimleri gösteriyor, bu da ENSO'daki değişimlerle birlikte görülüyor ve El Niño olaylarının sıklık ve yoğunluklarında başlıca iki değişim gerçekleşmiş olduğunu ortaya çıkarıyor. İlk olarak, 20. yüzyıl başında 10-15 yıllık bir çevrimden 3-5 yıllık bir çevrime kayma yaşandı. İkinci kayma 1976'daki, daha şiddetli ve daha da sık El Niño olaylarına doğru belirgin bir kaymanın yaşandığı şiddetli eşikti. Yakın tarihli El Niño olaylarının neden olduğu, hava durumu kaynaklı çok büyük yıkımlar ve felaketler dikkate alındığında ciddi sonuçlar bunlar. Model sonuçları ayrıca, şu andaki "şiddetlenmiş" El Niño şartlarının hava durumu modellerini kalıcı bir biçimde değiştirebileceğini de düşündürüyor. Örneğin, görünüşe bakılırsa, ABD'deki kuraklık bölgesi doğuya doğru kayıyor olabilir. Ancak, daha önce de görmüş olduğumuz gibi, bir El Niño olayını altı ay öncesinden öngörmek, ENSO'nun önümüzdeki 100 yılda daha da aşırı hale gelip gelmeyeceğini değerlendirmeye çalışmadan bile yeterince güç. Gele-

cekteki ENSO'yla ilgili bilgisayar modellerinin çoğu kesin sonuç vermiyor; kimilerinde bir artış görülürken, kimilerinde hiç artışa rastlanmıyor. Dolayısıyla bu da iklim sisteminin, küresel ısınmanın nasıl etkileyeceğini bilmediğimiz bir yönü. ENSO küresel iklimi doğrudan etkilemekle kalmıyor, aynı zamanda kasırgalarla siklonların sayılarını, şiddetlerini, izledikleri yolları ve Asya musonlarının gücünü ve zamanlamasını da etkiliyor. Dolayısıyla, küresel ısınmanın olası etkileri tartışılırken karşılaşılan en büyük bilinmezlerden biri ENSO'daki değişiklik ve küresel iklim sisteminin geri kalanı üzerinde yaratacağı zincirleme etkilerdir.

Dikkate almamız gereken bir diğer olasılık da, erken Holosen için ENSO'ya dair hiçbir kanıtın bulunamamış olmasıdır. Hatta ENSO'nun 4.000'le 5.000 yıl öncesinde bir zamanda başlamış olduğu düşünülüyor. Bu nedenle Bjørn Lomborg *The Skeptical Environmentalist* adlı kitabında radikal bir görüş öne sürerek, ENSO'yu ortadan kaldırabileceğinden, 2-3°C düzeyinde bir ısınmanın geleceğimiz için iyi olabileceğini söylüyor. Gelecekteki iklimi incelemekte kullanılan bilgisayar modellerinden hiçbirinde böyle bir etki bulunamadı ve ayrıca, Yerküre'nin güneşe göre yörüngesinin konumunun erken Holosen'de çok farklı olduğu unutulmamalı, ama bu da dikkate alınması gereken bir başka nokta.

Sağlık

Küresel ısınmanın insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yaratacağı öne sürülmüştür. İlk tahminlere göre küresel sı-

caklıklardaki artış, ölüm oranını artıracaktı. Yakın tarihli bir araştırma, Avrupa nüfusunun yaşam tarzlarını yüksek yaz sıcaklıklarını dikkate alacak şekilde başarıyla uyarlayabildiklerini gösteriyor. Bireysel risk değerlendirmesinin ve riske uyarlanmanın klasik örneğidir bu, çünkü ısıyla bağlantılı ölümlerin çoğu, sıcaklık alışıldık düzeyin üzerine çıktığında gerçekleşir. Örneğin Londra'da ısıyla bağlantılı ölüm olayları 22,3^{0} C'de başlarken, Atina'da 25,7^{0}C'de başlar. Yani doğru bilgilerin sunulması ve klima kullanabilme olanağının artırılması, dünyanın daha sıcak hava şartlarına uyum sağlaması anlamına gelebilir. Hatta ölüm oranının düşebileceği bile öne sürülüyor, çünkü soğuk hava nedeniyle ölen insan sayısı sıcaktan ölen insan sayısından daha fazla ve bu nedenle kışların daha sıcak olması, bu ölüm nedeninde azalma sağlayacak.

Ancak insan sağlığının karşı karşıya olduğu en büyük tehdit, tatlı içme suyuna ulaşma olanağıdır. Şu anda insan nüfusundaki artış, özellikle de nüfusun giderek kent alanlarında yoğunlaşması, su kaynakları üzerinde büyük bir baskı yaratıyor. İklim değişikliğinin –sıcaklık, yağış ve deniz seviyesindeki değişiklikler gibi– etkilerinin tüm dünyada tatlı suya ulaşma olanağı üzerinde farklı etkiler yaratması bekleniyor. Örneğin nehir akışlarındaki değişimler nehirlerle su haznelerinin verimlerini ve böylece, yeraltı kaynaklarının yeniden dolmasını etkileyecek. Buharlaşma oranındaki artış da su kaynaklarını etkileyecek ve sulama yapılan tarım topraklarındaki tuzlanmayı artıracak. Deniz seviyelerinin yükselmesi kıyı suverenlerine tuz girmesine neden olabilir. Şu anda yaklaşık 1,7 milyar insan, yani dünya nüfusunun üçte biri su sıkıntısı çeken ülkelerde yaşıyor. IPCC raporları

küresel nüfusta görülmesi beklenen artış ve beklenen iklim değişikliği karşısında, şu andaki tüketim modelleri temel alındığında, 2025'e gelindiğinde 5 milyar insanın su sıkıntısı çekeceğine işaret ediyor. İklim değişikliği en büyük etkiyi, göreli kullanımın mevcut kaynaklara oranının yüksek olduğu ülkelerde gösterebilir. Bol su kaynaklarına sahip bölgelerse taşkınlardaki artış sonucunda istediklerinden daha fazla suyla karşı karşıya kalacaklar. Yukarıda da belirtildiği gibi, bilgisayar modelleri Avrupa için daha şiddetli yağmurlar ve dolayısıyla önemli düzeyde taşkın sorunları öngörürken, şu anda su kıtlığı çeken ülkelerin (örneğin deniz suyunun arındırılmasına bel bağlayanların) görece etkilenmemesi mümkün. En çok etkilenenler, su sıkıntısıyla başa çıkmalarını sağlayacak bir tarihleri ya da altyapıları bulunmayan, arada kalan ülkeler olacak. Orta Asya, Kuzey Afrika ve güney Afrika'da yağış daha da azalacak ve yüksek sıcaklıklarla kirletici sızıntısı yüzünden su kalitesi giderek bozulacak. Buna yağışta yıldan yıla görülen değişkenlikte öngörülen artış da eklendiğinde, kuraklıklar sıklaşacak. Dolayısıyla, su kaynaklarını korumak ve/veya artan taşkın riskiyle başa çıkmak için planlamaya şu anda başlaması gerekenler, en yüksek riskin saptandığı ülkelerdir, çünkü insan sağlığını su kıtlığı ya da fazlalığından çok, kuraklık ya da sellerle başa çıkmak için gerekli altyapının bulunmayışı tehdit etmektedir. Dolayısıyla, önümüzdeki yüzyılda küresel ısınmanın etkilerinin hafifletilmesi için gerekli kaynakların sağlanması açısından, en çok risk altında bulunan ülkelerin ekonomik açıdan kalkınmaları şarttır.

İnsan sağlığının gelecekte karşı karşıya kalabileceği bir başka tehdit de, iklimsel etmenlerden doğrudan etki-

lenen pek çok bulaşıcı hastalığın aktarımındaki artıştır. Hastalık yayıcılar ve bunları taşıyan organizmalar (örneğin sivrisinekler) sıcaklık, yüzey suyu, nem, rüzgâr, toprak nemi ve orman dağılımındaki değişim gibi etmenlere karşı hassastır. Örneğin Bangladeş'te deniz yüzeyi sıcaklığının ve deniz seviyesinin yükselmesiyle yıllık kolera salgını şiddeti arasında güçlü bir bağıntı bulunmaktadır. Gelecekte öngörülen iklim değişikliği ve Bangladeş'in göreceli deniz seviyesindeki yükselme karşısında kolera salgınlarında artış yaşanabilir. İklim değişikliği özellikle de taşıyıcılarla aktarılan, yani örneğin sivrisinekler tarafından taşınan sıtma gibi, başka bir organizma tarafından taşınan hastalıklar üzerinde etkili olacak. Dolayısıyla, iklim değişikliğinin ve hava durumu modellerindeki değişimin taşıyıcı yoluyla aktarılan pek çok hastalığın ve başka bulaşıcı hastalıkların görülme aralığını (hem boylam hem enlem), şiddetini ve mevsimselliğini etkileyeceği tahmin ediliyor. Küresel ısınmanın yol açtığı nem ve sıcaklık artışı genel olarak, hastalık aktarımını artıracak. Ama bu hastalıkların pek çoğunun taşınma olasılığı iklim değişikliği karşısında artsa da, hastalıkları kontrol altına alma kapasitemizin de değişeceğini unutmamalıyız. Yeni aşıların bulunması ya da varolan aşıların geliştirilmesi beklenebilir; kimyasal ilaç kullanımıyla bazı taşıyıcı türler kontrol altına alınabilir. Yine de bu konuda da belirsizlikler ve riskler var; örneğin, uzun süreli kimyasal ilaç kullanımı dirençli soyların türemesine neden oluyor ve zararlıları avlayan türlerin de ölümüne neden olabiliyor.

Taşıyıcı yoluyla aktarılan en önemli hastalık sıtmadır; şu anda tüm dünyada 500 milyon hastalık bulaşmış insan

bulunuyor ve bu da yaklaşık olarak ABD nüfusunun iki katı demek. Anofel sivrisineğinin taşıdığı *Plasmodium vivax* sıtmaya yol açan bir organizmadır. Sivrisinek nüfusunun sıtma aktarma potansiyelini etkileyen başlıca iklim etmenleri sıcaklık ve yağıştır. Küresel iklim değişikliğinin sıtma sıklığı üzerindeki potansiyel etkisi konusundaki değerlendirmeler, sıtma aktarımına uygun alanların genişlemesi sonucunda geniş çaplı bir risk artışına işaret ediyor. Sivrisinekler için uygun sıcaklık bölgelerini haritalandıran matematik modelleri, 2080'lere gelindiğinde insanların olası maruz kalma oranlarının % 2-4 arasında (260-320 milyon insan) artacağını düşündürüyor. Öngörülen artışın endemik sıtma alanlarının sınırlarında ve sıtma alanları içerisindeki yüksek bölgelerde daha keskin olduğu görülüyor. Sıtma riskindeki değişiklikler yerel çevre şartları, sosyo-ekonomik kalkınmanın etkileri ve sıtma kontrol programları ya da kapasitesi temelinde yorumlanmalıdır. Enfeksiyon sıklığı Güneydoğu Asya, Güney Amerika ve Afrika'nın bazı yerlerindeki iklim değişikliklerine karşı özellikle hassastır. Küresel ısınma aynı zamanda, Anofel sivrisineklerinin güney İngiltere, Avrupa ve ABD'nin kuzeyinde üremeleri için de mükemmel şartlar yaratacak.

Ama çoğu tropik hastalığın görülme düzeyinin kalkınmayla bağlantılı olduğunu da belirtmeliyiz. Bunun örneklerinden biri, Küçük Buz Çağı sırasında Avrupa'nın büyük bölümünde görülen büyük salgın hastalıktır. 1940'lar gibi yakın tarihlerde sıtma Finlandiya, Polonya, Rusya ve ABD'nin Washington, Oregon, Idaho, Montana, Kuzey Dakota, New York, Pennsylvania ve New Jersey gibi 36 eyaletinde endemik bir hastalıktı. Yani küresel ısınmanın

bu tropik hastalıkların pek çoğunun görülme aralığını genişletme olasılığı bulunsa da, Avrupa ve ABD deneyimleri, sıtmayla savaşın kalkınmayla ve kaynaklarla yakından bağlantılı olduğuna işaret ediyor: hastalığın etkin biçimde izlenebilmesi için kalkınma ve sivrisineklerle üreme alanlarını ortadan kaldırmak için güçlü bir çaba harcanabilmesini sağlayacak kaynaklar.

Biyolojik çeşitlilik

IPCC raporunda, küresel ısınma sonucunda oluşacak iklim değişikliği nedeniyle en çok şu türlerin tehdit altında olacağı belirtilmektedir: Afrika'da dağ gorilleri, yalnızca neotropiklerin bulut ormanlarında görülen ikiyaşayışlılar, Andların gözlüklü ayısı, Tanzanya'nın orman kuşları, Orta Amerika'da muhteşem ketzal, Bengal kaplanı ve yalnızca Sundarban bataklıklarında bulunan öteki türler, yalnızca Güney Afrika'nın Cape Floral Bölgesi'nde bulunan, yağışa hassas bitkiler, kutup ayıları ve penguenler. Tehdit altındaki doğal habitatlar arasında mercan resifleri, mangrovlar, öteki kıyı bataklıkları, dağlık bölgelerin üst 200-300 metresinde bulunan dağ ekosistemleri, çayır bataklıkları, permafrost ekosistemler ve kutup ayılarıyla penguenlerin habitatını oluşturan buz kenarı ekosistemleri yer alıyor. Bu türlerin ya da ekosistemlerin tehdit altında olmalarının başlıca nedeni, özel coğrafi yerleşimleri ya da tarım ve kentleşme başta olmak üzere insan faaliyetlerinin istilası nedeniyle, iklim değişikliğine tepki olarak göç etmelerinin mümkün olmamasıdır. Örnek olarak neotropiklerin bulut

ormanlarını gösterebiliriz: iklim değiştikçe bu özel iklim bölgesi, artık daha fazla dağ kalmayana dek dağ yamaçlarına göç edecek.

Tehdit altındaki ekosistem örneklerinden biri de mercan resifleridir. Mercan resifleri balıkçılık, eğlence, turizm ve kıyı koruması açısından değerli ekonomik kaynaklardır. Resifler ayrıca, en büyük küresel deniz biyolojik çeşitliliği depolarındandır ve el değmemiş genetik kaynakları bulunmaktadır. Mercan resiflerini kaybetmenin küresel maliyeti kimi tahminlere göre yılda yüz milyarlarca dolara ulaşabilir. Son birkaç yılda mercan resiflerinin sağlığında daha önce eşi görülmemiş bir gerileme gözlendi. 1998'de El Niño'yla deniz yüzeyi sıcaklıklarının rekor düzeye ulaşması ve mercanlardaki bağlantılı ağarma arasında bağlantı kuruldu; mercanların içlerinde yaşayan ve hayatta kalmak için ihtiyaç duydukları suyosunlarını dışarı atmaları sonucunda oluşan bir durum bu. Bazı bölgelerde tek bir mevsimde mercanların % 70'i ölmüş olabilir. Ayrıca son yıllarda mercan hastalıklarının çeşitliliği, oluşumu ve şiddetinde de ani artış oluştu ve Florida'yla Karayip bölgesinin büyük bölümünde mercanlarda önemli düzeyde ölüm görüldü. Ayrıca atmosferdeki karbondioksit yoğunluğunun artması resif oluşturan mercanların taşlaşma hızlarını düşürebilir ve bunun sonucu da iskeletlerin zayıflaması, büyüme hızlarının düşmesi ve erozyona karşı zayıflıklarının artması olabilir. Model sonuçları bu etkilerin en çok, mercan resifi dağılımının şu andaki sınır bölgelerinde görülebileceğine işaret ediyor.

Daha kuramsal bir açıdan bakarsak, Thomas *ve diğ.* (*Nature*, 427, 145-148, 2004) tarafından gerçekleştirilen

bir araştırmada Meksika, Amazon bölgesi ve Avustralya gibi temel önem taşıyan bölgelerde önümüzdeki 50 yıl için olası soy tükenmesi hızında görülebilecek artış araştırılmıştır. Kuramsal modeller, 2050'ye gelindiğinde IPCC'nin öngördüğü iklim değişikliklerinin bu bölgelerde incelenen türlerin % 18'ini (0,8-1,7^{0}C düzeyinde ısınma), % 24'ünü (1,8-2,0^{0}C) ve % 35'ini (2,0^{0}C'nin üzerinde bir ısınma) soy tükenmesine mahkûm edebileceğini düşündürüyor. Bu da yüzyıl ortasına gelindiğinde bu bölgelerdeki tüm türlerin dörtte birinin soyunun tükenebileceğine işaret ediyor. Modeller, doğru ya da yanlış olabilecek pek çok varsayım içeriyor; örneğin, her bir türün varlığını sürdürebileceği kesin iklim aralığını ve habitat küçülmesiyle soy tükenmesi hızları arasındaki kesin ilişkiyi bildiğimiz varsayılıyor. Dolayısıyla bu sonuçlar ille de kesin boyut olarak değil, yalnızca soy tükenme hızlarının olası yönü olarak görülebilir. Ancak bu öngörüler, bölgesel ve küresel biyolojik çeşitliliğin gelecekte karşı karşıya kalacağı büyük bir tehdidi temsil ediyor ve biyolojik sistemin gelecekte oluşacak ısınma miktarı ve hızına karşı hassasiyetini gösteriyor.

Tarım

Gelecekteki iklim değişikliğiyle ilgili başlıca kaygı konularından biri, hem küresel hem de bölgesel düzeyde tarım üzerinde yaratacağı etkidir. Burada asıl önemli soru, gelecek için öngörülen küresel ısınma şartları altında dünyanın kendini besleyip besleyemeyeceğidir. 2060 yılı için yapılan tahıl üretimi tahminleri, iklim değişikliğinin kü-

resel tarım üretiminin artmasına mı yoksa azalmasına mı yol açacağı konusunda hâlâ büyük bir belirsizlik olduğuna işaret ediyor. Öngörülen sıcaklık artışlarını dikkate aldığımızda, hem gelişmiş hem de azgelişmiş ülkelerde gıda üretiminde düşüş olmasını bekleyebiliriz. Ama öteki etkiler de dikkate alındığında sıcaklığın bu etkisi büyük oranda azalıyor, ya da gelişmiş dünya söz konusu olduğunda artışa dönüşüyor. Burada en önemli yeni faktörlerden biri, atmosferdeki yoğunluğu yükselen karbondioksitin gübre işlevi görmesi; bu nedenle bilimsel çalışmalar, karbondioksit fotosentez için temel önem taşıdığı ve bitkiler için başlıca karbon kaynağı olduğundan, daha fazla karbondioksit içeren bir atmosferde bitkilerin daha hızlı ve daha iyi büyüdüğünü gösteriyor. Bitkiler atmosferde daha fazla karbondioksit olmasından hoşlanıyorlar ve bu nedenle, gelecekte pek çok bölgede tarımsal verimde artış görülebilir. Ayrıca, çiftçilerin değişen iklim şartlarına uyum sağlamak için gerekli önlemleri alabilecekleri varsayılırsa, bu da pek çok bölgede tarımsal üretimin artmasını ya da aynı düzeylerde korunmasını sağlayacaktır. Örneğin çiftçiler değişen şartlara uyum sağlamak için ekim zamanlarını değiştirebilir ve/veya aynı bitkinin farklı bir cinsini yetiştirmeye başlayabilirler. Dolayısıyla modeller, tüm dünya ölçeğinde makul varsayımlar yapıldığında, değişimin az ya da orta düzeyde olmasının beklendiğini düşündürüyor. Ama bu, günümüzle karşılaştırıldığında 2060'ta tüm dünyada üretilen tahıl miktarının aynı ya da daha az olacağı anlamına gelmiyor. 1960'dan bu yana dünya tahıl üretimi iki katına çıktı ve benzer bir oranla yükselmeyi sürdürmesi bekleniyor. Bu nedenle, Meteoroloji Dairesi Hadley Merkezi'nin

iklim modelinin kullanıldığı 1999 tarihli kötümser bir çalışma bile, 2080'de tahıl üretiminin günümüzle kıyaslandığında, küresel ısınma olmaması durumunda beklendiği gibi % 94 oranında değil, yalnızca % 90 oranında artacağı tahminine ulaşmıştır.

Ancak bu bakış, farklı bölgelerde görülecek çok büyük değişimleri gizliyor; kazananlar ve kaybedenler olacak ve kaybedenler elbette, uyum sağlama gücü en az olan en yoksul ülkeler arasından çıkacak. Ayrıca tüm bu çalışmaların sonuçları varsayılan ticaret modellerine ve piyasa güçlerine son derece bağımlı, çünkü ne yazık ki dünyada tarımsal üretim dünya nüfusunun beslenmesinden çok, ticaret ve ekonomiyle ilgili bir konu. AB'nin gıda stokları birikirken, pek çok az gelişmiş ülkenin piyasa ürünleri (örneğin şeker, kakao, kahve, çay, kauçuk vb) ihraç etmekle birlikte kendi halklarını besleyememelerinin nedeni budur. Pamuk çiftçilerinin Texas'taki Amerikalı rakiplerine kıyasla hektar başına yılda dört ila sekiz kat daha fazla pamuk verimi elde edebildikleri Batı Afrika devleti Benin bu duruma klasik bir örnektir. Ama ABD çiftçilerini destekliyor ve bu da, ABD pamuğunun Benin'den gelen pamuktan daha ucuz olması demek. Şu anda ABD'li pamuk çiftçileri 3,9 milyar dolar sübvansiyon alıyorlar; Benin'in toplam GSYİH'nın neredeyse iki katı tutarında bir rakam bu. Küresel ısınma Texas'ta pamuk veriminin daha da düşmesine neden olsa bile, bu durum piyasa eğilimlerini değiştirmiyor.

Bu nedenle bilgisayar modellerinde piyasalar, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde tarımın karşı karşıya kalacağı etkiler arasındaki farkı artırabilir ve kullanılan ticaret modeline bağlı olarak, tedarik azalsa bile tarım ihracatçıları

para kazanabilirler, çünkü bir ürün kıtlaştığında fiyatı yükselir. Öteki bilinmeyen etmense, bir ülkenin tarımının ne derece uyum sağlayabileceğidir. Örneğin, gelişmekte olan ülkelerin tahmini uyum sağlama kapasitelerinin gelişmiş ülkelerden daha düşük olması nedeniyle, modellerde bu ülkelerin üretim düzeylerinin gelişmiş ülkelere kıyasla daha fazla düşeceği varsayılır. Ama bu da geçmişte hiçbir benzeri bulunmayan varsayımlardan biridir ve tarım üzerindeki bu etkiler önümüzdeki yüzyılda oluşacağından, bu döneme gelindiğinde pek çok gelişmekte olan ülke, uyum sağlama gücü açısından gelişmiş dünyaya yetişmiş olabilir.

Küresel ısınmanın neden olabileceği gerçek bölgesel sorunlara bir başka örnek de, Uganda'daki kahve üretimidir. Burada Robusta kahvesinin yetiştirilmesine uygun toplam alan çarpıcı derecede azalarak, 2°C düzeyinde bir sıcaklık artışı sonucunda % 10'dan az bir düzeye inecek. Geriye yalnızca, yükseklerdeki alanlar kalacak; geri kalan alanlar kahve yetiştirilemeyecek kadar ısınmış olacak. Bu da, ekonomileri genellikle bir ya da iki tarım ürününe dayanan pek çok gelişmekte olan ülkenin küresel ısınmanın etkileri karşısındaki savunmasızlığını gösteriyor. Dolayısıyla, küresel ısınmaya uyum sağlamak için yapılacak en önemli şeylerden biri, en çok tehdit altındaki ülkelerin ekonomik ve tarımsal temelini genişletmek olacaktır. Bunun gerçekte yapılması kâğıt üzerinde göründüğünden çok daha güç elbette ve AB'yle ABD'nin tarımsal sübvansiyonlarıyla şu andaki tek taraflı Dünya Ticaret Anlaşmalarının küresel tarım üretimi ve ülkelerin kendi kendilerini besleyebilme güçleri üzerindeki etkisinin, küresel ısınmanın herhangi bir zamandaki etkisinden daha fazla olduğu açıkça görülüyor.

VII. Bölüm

SÜRPRİZLER

Yukarıda tartışılan etkilerin tümünde, AOGCM'lerin sonuçlarında görüldüğü gibi, sera gazı zorlamasıyla iklim değişiklikleri arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu varsayılmaktadır. Ancak bilim adamlarının iklim değişikliğinin aniden gerçekleşebileceği yönündeki kaygıları giderek artıyor. Bunun nedeni, yakın tarihlerde, geçmişteki iklim değişikliklerinin pek çoğunun şaşırtıcı bir hızla gerçekleşmiş olduğunu gösteren bilimsel kanıtlar bulunmuş olması. Örneğin buz çekirdeği kayıtları, son buz çağından bu yana Grönland'da oluşan ısınmanın yarısının tek bir onyıl içinde gerçekleştiğine işaret ediyor. Bu bölgesel değişikliklerden bazıları 10^{0}C'yi aşan sıcaklık değişiklikleri içermekteydi. 1. Bölüm'le ve iklimin nasıl değiştiği, yumuşak bir değişim mi geçirdiği yoksa eşikler ve çatallanmalar mı içerdiği tartışmasıyla ilgili bir konu bu. Gelecekteki iklim değişikliğinin aniden gerçekleşebileceği yönündeki kaygılar o kadar yoğun ki, 2003'te Londra'daki prestijli Royal Society bu konuda bir konferans düzenledi ve bağlantılı

bir rapor hazırladı, ABD'deyse Ulusal Araştırma Kurulu Ani İklim Değişikliği konulu bir rapor sipariş etti ve bu rapor 2002'de yayınlandı. Bunun yeni bir paradigma olmasına karşın, küresel iklim sisteminin aniden değişebileceği son onyıl içinde yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır. Her iki raporda da, bu yeni paradigmanın farkına varılıp gerektiği şekilde harekete geçilmesi için doğa bilimcilerle sosyal bilimciler ve ayrıca siyaset yapıcılar arasında daha geniş çaplı bir iletişim kurulması gerektiği vurgulanıyor. Ulusal Araştırma Kurulu Raporu'nda beş tavsiyeye yer veriliyor:

1. Ani iklim değişikliğiyle bağlantılı temel bilgilerin geliştirilmesi.

Aşağıda üç olası ani iklim sürprizini inceleyeceğim; derin okyanus dolaşımı, gaz hidratları ve Amazon bölgesi. Ama bütün bunları birbirine bağlayan şey, küresel iklimin gelecekte küresel ısınmaya nasıl tepki vereceğini aslında bilmememiz. Dolayısıyla, bu değişikliklerin ne kadar ani gerçekleştiği konusunda daha fazla çalışma yapılması şart. Ulusal Araştırma Kurulu raporu ayrıca, küresel ve bölgesel ekonomilerin ani iklim değişikliğiyle nasıl başa çıkacağının daha iyi anlaşılması gerektiğine de işaret ediyor.

2. Ani iklim değişikliği üzerinde odaklanan modellerin geliştirilmesi.

Şu anda modellerin çoğunda zorlamayla değişiklikler arasında bir sabit-duruma ya da dengeye ulaşılmaya çalışılıyor. Bize gereken şey, ani iklim değişikliğinin ne ko-

laylıkla gerçekleşebileceğine bakabilmemizi sağlayacak yeni bir yüksek çözünülürlüklü model. Ulusal Araştırma Kurulu raporu ani iklim değişiklikleriyle ilgili yeni olası mekanizmaların araştırılması ve modeller arasında bir hiyerarşi oluşturulması gerektiğini vurguluyordu, çünkü bu ani değişikliklerin pek çoğu, AOGCM'lerin şu anda taklit edemediği küçük uzamsal ölçekte başlıyor.

3. Ani iklim değişikliğiyle bağlantılı paleoiklim verilerinin geliştirilmesi.

Geçmişteki iklim değişiklikleri iklimin gelecekte nasıl değişebileceği konusunda pek çok ipucu sunmuştur. Örneğin son buz çağı sırasında derin okyanus dolaşımının son derece farklı olduğu anlaşılana kadar okyanusbilimciler bu dolaşımın değişebileceği düşüncesini dikkate almamışlardı. Ulusal Araştırma Kurulu raporu, geçmişte yaşanmış ani olayların hem coğrafi hem de zamansal çözünülürlüğünün geliştirilmesi gerektiğine işaret ediyor. Ayrıca hem su fazlalığı (seller) hem de su azlığı (kuraklık) açısından su meselesine de odaklanılması gerekiyor, çünkü bunlar insanlığı en çok etkileyen faktörler.

4. İstatistiksel yaklaşımların geliştirilmesi.

Bu konudan elinizdeki kitapta daha önce de bahsedilmişti, ama iklim istatistiğinde şu andaki uygulama, sonuçlarda basit ve değişmeyen bir dağılım olacağının varsayılmasıdır. Örneğin 30 yılda bir görülen bir fırtına, istatistiksel olarak her zaman 30 yılda bir görülecektir. Bu

varsayım, aşırı olayların görülmesi olasılığının ciddi derecede hafife alınmasına neden oluyor; dolayısıyla, özellikle de tüm gelecek tahminleri aşırı hava durumu şartlarında yıldan yıla görülen değişkenliğin gelecekte artacağı yönünde olduğundan, iklim istatistiğinin kavramsal temelinin ve uygulamasının gözden geçirilmesi gerekiyor.

5. Savunmasızlığın azaltılması için "pişman olunmayacak" stratejilerin araştırılması.

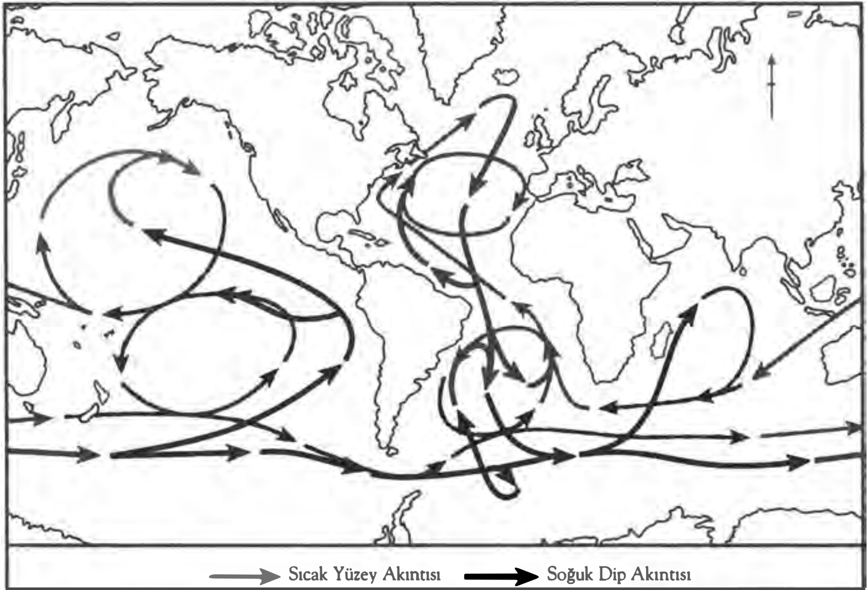
Ulusal Araştırma Kurulu raporu, uyum sağlama kapasitesinin çok düşük maliyetle ya da hiç maliyetsiz artırılması ve savunmasızlığın azaltılması amacıyla, "pişman olunmayacak" önlemlerin saptanması için gerekli araştırmaların yapılması gerektiğini vurguluyor. Pişman olunmayacak önlemler iklim değişikliğini yavaşlatacak, iklim tahminlerini geliştirecek, biyolojik çeşitlilik kaybını yavaşlatacak, su, toprak ve hava kalitesini yükseltecek düşük maliyetli adımları içerebilir. Temiz teknoloji gibi teknolojik değişimler hem ekonomik hem de ekolojik sistemlerin ani iklim değişikliğiyle karşı karşıya kaldıklarında uyum sağlama ve toparlanma güçlerini artırabilir. Rapor, ani iklim değişikliğinin etkilerini azaltmak için uyarlanma gücü daha yüksek bilimsel ve ekonomik altyapıların geliştirilmesinde yoksul ülkelere nasıl yardım edilebileceği konusunun araştırılması gerektiğini vurguluyor.

Aşağıda, küresel ısınma nedeniyle önümüzdeki yüz yıl içerisinde yaşanabilecek olası "sürpriz"lerden yalnızca üçünü tartışacağım. Bu hipotezlerin ortak yönü, gerçekleşip gerçekleşmeyecekleri, ne zaman gerçekleşecekleri ve

eğer gerçekleşirlerse etkilerinin ne olacağı konusunda aslında hiçbir fikrimizin olmamasıdır.

Derin okyanus dolaşımı

Okyanus dolaşımı, küresel iklimimizi etkileyen başlıca unsurlardan biridir. Derin okyanus aslında hacmi, ısı kapasitesi ve ataleti nedeniyle, uzun süreli (yüzlerce ila binlerce yıl) içsel iklim değişikliğini başlatmak ve sürdürmek için tek adaydır. Kuzey Atlantik'te kuzeydoğu yönelimli Gulf Stream sıcak ve tuzlu yüzey suyunu Meksika Körfezi'nden Kuzey Avrupa denizlerine taşır (Şekil 28). Gulf Stream'in tuzluluğunun artmasının nedeni, Karayipler'de oluşan ve yüzey sularındaki nemi alıp deniz suyundaki tuzları yoğunlaştıran geniş çaplı buharlaşmadır. Gulf Stream kuzeye doğru aktıkça soğur. Yüksek tuz içeriği ve düşük sıcaklık bileşimi yüzey suyunun daha ağır ya da yoğun olmasına yol açar. Bu nedenle yüzey suyu İzlanda'nın kuzeyindeki görece tatlı okyanuslara ulaştığında, derin okyanusa gömülecek yoğunluğa erişecek kadar soğumuştur. Bu yoğun su kütlesinin batmasının yarattığı "çekim" sıcak Gulf Stream'in gücünü korumasına yardımcı olarak, sıcak bir tropik su akıntısının kuzeydoğu Atlantik'e akmasını ve Avrupa kıtasına ılık hava kütleleri yollanmasını sağlar. Gulf Stream'in tüm Britanya'nın enerji istasyonlarının enerjisinin 27.000 katı enerji getirdiği hesaplanmıştır. Gulf Stream'in Avrupa'nın iklimi için ne kadar yararlı olduğu konusunda herhangi bir kuşkunuz varsa, Atlantik Okyanusu'nun iki yakasında aynı eylemlerde yaşanan kış-

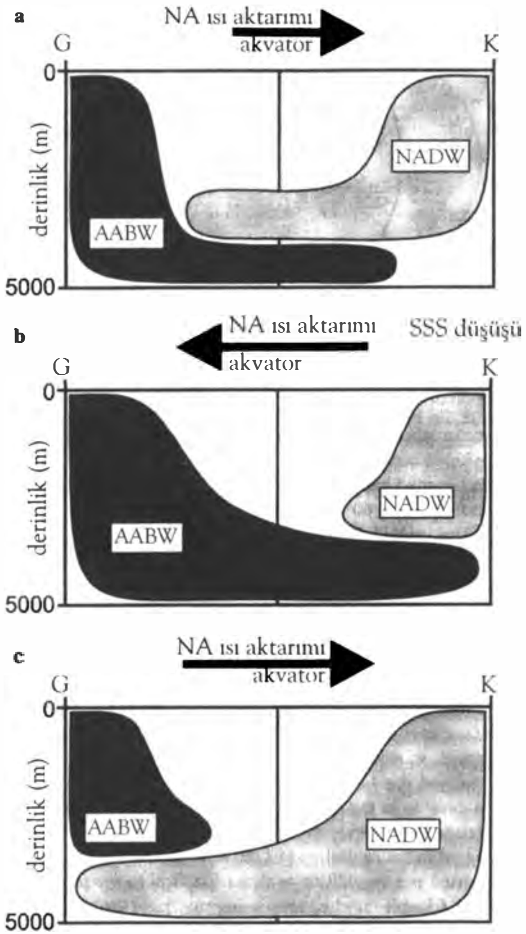


28. Okyanusun, okyanus taşıyıcı kuşağı denen derin dolaşımı.

ları, örneğin Londra'yla Labrador'u ya da Lizbon'la New York'u karşılaştırın. Ya da, okyanusla kıta arasında benzer bir coğrafi ilişkinin bulunduğu Batı Avrupa'yla, Kuzey Amerika'nın Batı kıyısını kıyaslayın. Yani, yaklaşık olarak aynı enlemlerde bulunan Alaska'yla İskoçya'yı düşünün.

Yeni oluşan derin su okyanusta 2.000-3.500 metre arasında bir derinliğe gömülür ve Kuzey Atlantik Derin Suyu (NADW) olarak güneye, Atlantik Okyanusu'na akar. Güney Atlantik Okyanusu'nda, Güney Okyanusu'nda oluşan ve Antarktik Dip Suyu (AABW) adı verilen ikinci bir tür derin suyla karşılaşır. Bu, NADW'den farklı bir biçimde oluşmaktadır. Antarktika deniz buzuyla sarılıdır ve kıyı polinalarında, yani deniz buzundaki geniş deliklerde derin su oluşur. Dışarıya doğru esen Antarktika rüzgârları deniz buzunu kıta kenarından uzağa iterek bu delikleri oluşturur. Rüzgârlar yüzey sularını aşırı derecede soğutacak kadar soğuktur. Bu da daha fazla deniz buzu oluşumuna ve tuzun ayrılmasına yol açarak, dünyanın en soğuk ve tuzlu suyunu yaratır. AABW Antarktika'nın etrafından akarak Kuzey Atlantik'e girer, daha sıcak ve dolayısıyla biraz daha hafif olan NADW'nin altından akar (Şekil 29a). AABW ayrıca, hem Hint hem de Pasifik Okyanuslarına da akar.

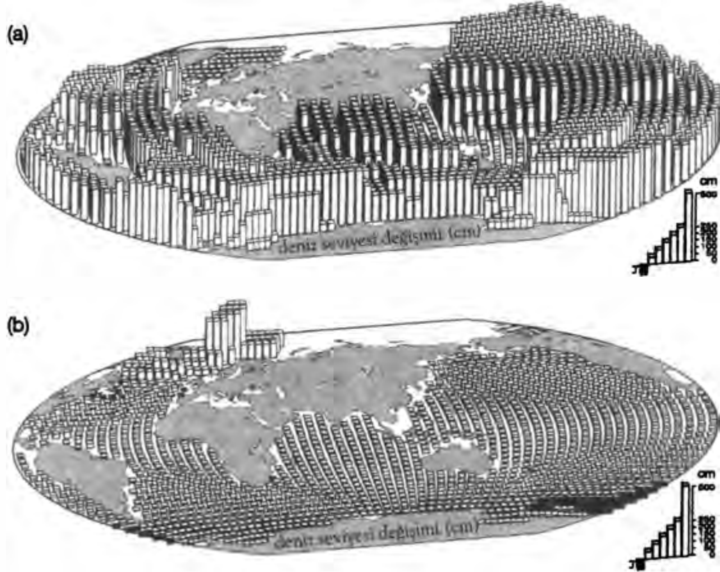
NADW'yle AABW arasındaki bu denge, Gulf Stream'in Avrupa'nın yanından akmasını sağlamanın ötesinde, kuzey ve güney yarıküreler arasında doğru miktarda enerji değiş tokuşu sağlamasıyla da şu andaki iklimimizin sürmesinde son derece önemlidir. Bilim adamları yüzey suyunun gömülemeyecek denli hafif olmasına yol açacak miktarda tatlı su girişi olması durumunda derin su dolaşımının zayıflayabileceğini ya da "kapanabileceğini" kanıtlamışlardır.



29. Deniz yüzeyi tuzluluğuna (SSS), yani tatlısu girişine bağlı olarak farklı olası derin okyanus dolaşımları

Bu kanıta hem bilgisayar modellerinden hem de geçmiş iklimlerin incelenmesi sonucunda ulaşılmıştır. Bilim adamları tatlı su eklenmesi ve/veya suyun ısınması sonucunda yoğunluğun düşmesini tanımlamak için "yoğunsuzlaşma" terimini üretmişlerdir; bu iki olay da deniz suyunun batacak kadar yoğunlaşmasını engeller. Daha önce de görmüş olduğumuz gibi, küresel ısınmanın kutuplardaki buz katmanlarında önemli düzeyde bir erimeye neden olacağından zaten kaygılanılıyor. Bu da kutup okyanuslarına daha fazla tatlı su eklenmesine neden olacak. Küresel ısınma böylece NADW'nin çökmesine ve Gulf Stream'in zayıflamasına yol açabilir (Şekil 29b). Bu da Avrupa'da kışların daha soğuk geçmesine, fırtınaların artmasına ve hava durumunun daha sert olmasına yol açar. Ne var ki sıcak Gulf Stream'in etkisi daha çok kışın görülür, yani yaz sıcaklıklarını etkilemez. Bu nedenle Gulf Stream çökse bile küresel ısınma Avrupa'da yazların daha sıcak geçmesine neden olacaktır. Avrupa'da sonunda, mevsimsel hava durumu şartları aşırı düzeylere ulaşacaktır.

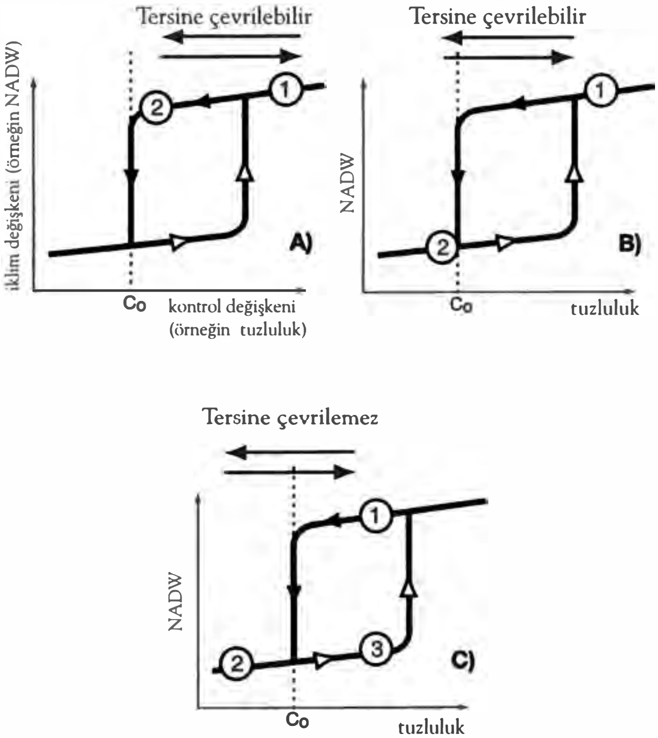
Bir karşı senaryoya göreyse, Antarktika'daki buz örtüsünün Grönland ve Kuzey Kutbu buzlarından önce önemli derecede erimeye başlaması durumunda işler çok farklı olabilir. Güney Okyanusu'na yeterince erimiş buz suyu girmesi durumunda AABW ciddi derecede güçsüzleşir. Derin su sistemi NADW'yle AABW arasında bir dengeleyici olduğundan AABW'nin azalması durumunda NADW artacak ve yayılacaktır (Şekil 29c). Burada sorun NADW'nin AABW'den daha sıcak olmasıdır ve ısıtılan sıvılar genleştiğinden, NADW daha fazla yer kaplayacaktır. Bu durumda NADW'deki herhangi bir artış deniz seviyesinde yükselme



30. Ya a) Antarktika çevresindeki Güney Okyanusu ya da b) Kuzey Atlantik Okyanusu'ndaki erime suyu girişine bağlı olarak gelecekteki deniz seviyesi değişimleri.

anlamına gelecektir. Profesör Seidov'un (Penn Eyalet Üniversitesi) ve benim bilgisayar modellerimiz, Güney Okyanusu'ndaki bir erime suyu olayının AABW'de azalmaya ve NADW'nin genişlemesine yol açacağına ve sonuçta 2,5 metre düzeyinde bir ortalama deniz seviyesi yükselişi oluşacağına işaret ediyor (Şekil 30). Buradaki sorun, NADW ya da AABW'nin kapanması için ne kadar tatlı suya gerek olduğu konusunda hiçbir fikrimizin bulunmaması. Şu anda Kuzey Kutbu'nun mu yoksa Antarktika'nın mı daha önce eriyeceğini de tahmin edemiyoruz. Ama geçmişte bu olayların sık sık görüldüğünü ve küresel iklimi çarpıcı derecede değiştirdiğini biliyoruz. Kürcscl ısınmanın sürmesi durumunda gelecekte bir zamanda yeterince erime suyu oluşacak ve önümüzdeki seçenekler ya Avrupa ikliminde şiddetli bir değişiklik, ya da küresel deniz seviyesi yükselişinde fazladan 2,5 metrelik bir artış olacak.

Kuzey Atlantik ya da Güney Okyanusu derin su oluşumunun azalması için ne kadar tatlı suya gerek olduğunu bilmemenin ötesinde, durumun nasıl tersine çevrilebileceğinden de emin değiliz. Bunun nedeni, bilgisayar modellerinin tatlı su-derin okyanus sisteminin bir eşik-çatallanma sistemi olabileceğine işaret etmesidir. Şekil 31'de iklim sistemindeki bu çatallanma gösteriliyor ve eşiğin yönüne bağlı olarak iklimle zorlama mekanizması arasında farklı ilişkiler olabileceğine işaret ediliyor. Çatallanma sistemi doğal sistemlerde, örneğin maddenin farklı halleri arasındaki atalet ya da kaymanın üstesinden gelinmesi gereken durumlarda son derece yaygındır. Şekil 31 A ve B durumlarında sistemin tersine çevrilebileceğini, ama C durumunda çevrilemeyeceğini gösteriyor. C durumunda



31. İklim sisteminde çatallanma.

eşiğin aşılıp sistemin eşik öncesindeki duruma dönebilmesi için belirleyici değişkeninin önceki denge durumundan daha fazla artması gerekir. Bunu Kuzey Atlantik'in tuzluluğu ve Kuzey Atlantik Derin Su (NADW) üretimi açısından düşünelim. Kuzey Atlantik'e daha fazla tatlı su eklenmesinin tuzlu, soğuk ve dolayısıyla ağır derin suyun

üretimine zarar verdiğini biliyoruz. A durumunda Kuzey Atlantik'in tuzluluğunun değişmesinin üretilen NADW miktarı üzerinde hiçbir etkisi bulunmuyor. Son derece duyarsız bir sistem. B durumunda tuzluluğun azalması NADW üretimini azaltıyor; ama tuz yerine konduğunda NADW üretimi önceki, eşik öncesi düzeyi dönüyor. C durumunda Kuzey Atlantik'te tuzluluğun azalması NADW üretimini azaltıyor. Ama aynı miktarda tuzun konması NADW üretiminin normal miktara dönmesine yetmiyor. Çatallanma yüzünden, NADW üretiminin önceki düzeye dönmesi için çok daha fazla tuz gerekiyor (bkz. Şekil 5e ve 29c). Gereken fazladan tuz sistemin içinde bulunmayabilir ve bu da kuramsal olarak sistemi geri çevrilemez hale getirir. Gelecekteki iklim değişikliğine bakarken karşı karşıya kaldığımız başlıca sorun, çatallanma sisteminin olup olmadığı ve sistemin geri çevrilemez noktanın ötesine geçip geçmeyeceğidir. Asıl kaygı uyandırıcı olansa, bu eşik sistemlerinin iklim sisteminin her parçası için geçerli olabilmesidir. Buna verebileceğimiz bir başka örnek, musonların konumudur: Umman'da ve Arabistan'ın öteki yerlerinde tatlı yeraltı suyu 18,000 yıl öncesine, son buz çağına tarihlendirilmiştir; hiçbir bölümü daha genç değildir. Bu da buzul çağı şartları altında günümüz Güneydoğu Asya muson kuşağının çok daha kuzeye geldiğine ve şu anda aşırı derecede kurak olan bölgelerde önemli düzeylerde yağmur ürettiğine işaret ediyor. Küresel iklim buzularası döneme geçtiği anda musonlar yer değiştirdi. Bu noktada şu soru gündeme geliyor: küresel ısınma musonların konumunu yeniden değiştirirse, küresel ısınmanın etkilerinin azalması durumunda şu andaki duruma dönecekler mi?

Şu anda dünya okyanuslarının ve permafrostun altında ölümcül bir tehdit gizleniyor: gaz hidratları. Bunlar, çok düşük sıcaklık ve çok yüksek basınçlarda katı halde kalan metan ve gaz bileşimleridir. Bu gaz hidratları, bireysel metan ve başka gaz moleküllerini tutan bir su molekülleri kafesinden oluşan katı maddelerdir. Metan, okyanus tortullarının derinliklerinde ve permafrost altındaki topraklarda bulunan organik maddelerin çözünmesi sonucunda ortaya çıkar. Bu gaz hidratları hazneleri son derece istikrarsızdır; sıcaklıktaki hafif bir yükselme ya da basınçtaki bir düşüş, istikrarsızlaşıp çok büyük bir risk oluşturmalarına yol açabilir. Küresel ısınmanın etkileri arasında hem okyanusların hem de permafrostun ısınması yer almaktadır ve bu da gaz hidratlarının çözünerek, atmosfere yüksek miktarlarda metan pompalanmasına yol açabilir. Metan son derece güçlü bir sera gazıdır; karbondioksitten 21 kat daha güçlüdür. Yeterince metanın serbest kalması durumunda sıcaklık daha da yükselecek ve bu da daha da fazla gaz hidratının serbest kalmasına yol açacaktır – bu da sızıntı sera gazı etkisi yaratacaktır. Şu anda atmosferde yalnızca 180 gigaton karbondioksit bulunurken, ayaklarımızın altında 10.000 ton gaz hidratı depolanmış durumdadır. Bilim adamlarının bu konuda böylesine kaygılanmalarının nedeni, 55 milyon yıl önce sızıntı sera etkisinin yaşanmış olduğu yönünde kanıtlar bulunmasıdır. Bu sera olayı sırasında 1.200 ton gaz hidratı serbest kaldı, ama doğal sera gazı etkisini hızlandırdı ve fazladan 5°C'lik ısınmaya neden oldu. Ancak bilim adamları küresel ısınmanın gaz hidratlarının

serbest kalmasında önemli bir artışa yol açacağı konusunda hemfikir değiller. Bunun nedeni okyanustaki gaz hidratları üzerinde iki belirleyici etki bulunması: bunlardan biri sıcaklık, ötekiyse basınç ya da deniz seviyesi. Ne var ki Meteoroloji Dairesi Hadley Merkezi'nden Peter Cox'ın model hesaplamaları, şu anda öngörülen küresel ısınma düzeylerinde deniz seviyesinin okyanusun ısınmasının etkilerini bastıracak kadar hızlı yükselmeyeceğine ve dolayısıyla önümüzdeki yüz yılda gaz hidratlarının çözünmeye başlamasıyla metanın serbest kalacağına işaret ediyor.

Bir sorun daha var. Grönland ve Antarktika Buz Örtülerinin önemli bir bölümünün erimesi durumunda buzun kıtadan ayrılması, kıtanın toparlanıp yukarıya doğru yükselmeye başlaması anlamına geliyor. Bu izostatik geri tepme, hâlâ son buz çağının etkilerinden kurtulmakta olan ve İngiltere alçalırken İskoçya'nın hâlâ yükseldiği Britanya Adaları'nda görülebilmektedir. Bu da kıta sığlığının etrafındaki göreceli deniz seviyesinin alçalarak deniz tortulu üzerindeki deniz suyu ağırlığını ve dolayısıyla basıncını ortadan kaldırması anlamına gelecektir. Basıncın kalkması gaz hidratlarının istikrarsızlaşmasında sıcaklık artışından daha etkilidir, bu nedenle Kuzey Kutbu ve Antarktika etrafından çok miktarda metan serbest kalabilir. Gaz hidratlarının serbest kalmasının ikincil bir etkisi daha var: hidratlar çözündüklerinde patlayabilirler. Geçmişte şiddetli gaz hidratı boşalmalarının kıta sığlığında devasa çöküntülere ve bununla bağlantılı tsunamilere (devasa dalgalar) neden olduğunu gösteren kesin kanıtlar bulunmaktadır. Bunlar arasından en ünlüsü yaklaşık 8.000 yıl önce yaşanan ve İskoçya'da tarihöncesi yerleşmelerden pek çoğu-

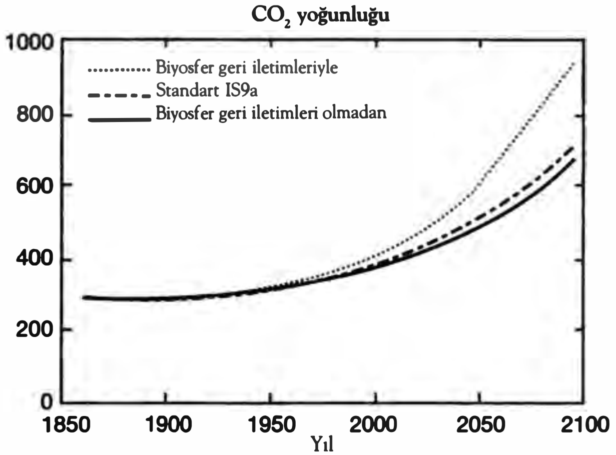
nu haritadan silmiş 15 metre yüksekliğinde bir tsunami yaratmış olan, Galler büyüklüğündeki Norveç Storegga kaymasıdır. Bu nedenle, küresel ısınmanın gaz hidratları kaynaklı denizaltı toprak kaymalarına ve dolayısıyla, 15 metre yüksekliğinde tsunamilerin kıyılarımızı vurmasına yol açabileceği gerçeğini akıldan çıkaramayız. Şu ana dek, bu tsunamilerin pek çoğu depremler tarafından başlatıldığından, bir tek Pasifik şeridi civarındaki ülkeler bu tür bir olaya hazırlıklılar. Ama gaz hidratları kaynaklı tsunamiler okyanusun herhangi bir yerinde oluşabilir.

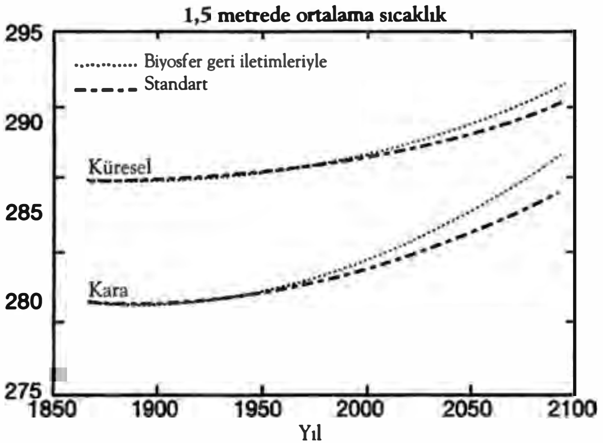
Amazonlar

1542'de Francisco de Orellana, Amazon Nehri'ndeki Avrupa kökenli ilk seyahate önderlik etti. Bu cesurca seyahat sırasında keşif ekibi, bölge Kızılderililerinin direnciyle karşılaştı; kabilelerden birinde kadın savaşçılar öylesine vahşilerdi ki, erkek savaşçılarını mızraklarıyla önlerinde sürüyorlardı. Bu nedenle nehre Yunan mitlerinin ünlü kadın savaşçıları olan Amazonların adı verildi. Bu da Francisco de Orellana'yı o çağın en bahtsız kâşiflerinden biri kılar, çünkü normalde nehre onun adının verilmesi gerekirdi. Bu yolculuk aynı zamanda, dünyanın en büyük nehrine ve en geniş yağmur ormanı alanına karşı duyduğumuz ve günümüzde de hâlâ devam eden mistik merakımızın başlangıcı oldu. Amazon Nehri okyanuslara taşınan tüm tatlı suyun yaklaşık % 20'sini boşaltmaktadır. Amazon drenaj havzası yaklaşık olarak Avrupa büyüklüğündeki 7.050.000 kilometrekarelik alanıyla dünyanın en büyük havzasıdır.

Bu nehir, her yaz şiddetli yağmurlar getiren Amazon musonlarının ürünüdür. Musonlar aynı zamanda, dünyanın en büyük biyolojik çeşitliliğini ve en çok sayıda türünü besleyen muazzam büyüklükte bir yağmur ormanı yaratır. Amazon yağmur ormanları doğal bir karbon deposu olduğundan, küresel ısınmanın geleceği açısından da çok önemlidir. Yakın zamanlara dek, Amazon gibi köklü bir yağmur ormanının olgunluğa ulaştığı ve bu nedenle daha fazla karbondioksit ememeyeceği sanılıyordu. Amazon yağmur ormanlarının merkezinde yapılan deneyler bunun belki de yanlış olduğunu ve Amazon yağmur ormanlarının yılda hektar başına fazladan 5 ton atmosferik karbondioksit emiyor olabileceğini gösterdi. Bunun nedeni bitkilerin karbondioksit artışına olumlu tepki vermeleridir; karbondioksit fotosentezin hammaddesi olduğundan, ne kadar fazla olursa o kadar iyidir. Dolayısıyla, atmosferde daha fazla karbondioksit bulunması gübre işlevi görerek bitkilerin büyümesini teşvik eder. Amazon yağmur ormanları büyüklüğü nedeniyle, görünüşe bakılırsa şu anda atmosferdeki karbondioksit kirliliğinin, dünyanın araba kirliliğinin yaklaşık dörtte üçüne denk gelen çok büyük bir kısmını emmektedir. Ama gelecekte işler değişebilir.

Meteoroloji Dairesi Hadley Merkezi'nde geliştirilen küresel iklim modelleri, 2050'ye gelindiğinde küresel ısınmanın Amazon bölgesinde kış aylarındaki kurak mevsimi daha da şiddetlendirebileceğine işaret ediyor. Amazon yağmur ormanlarının ayakta kalabilmesi için yağışlı mevsim sırasında çok miktarda yağmur almanın ötesinde, kurumaması için kurak mevsimin görece kısa olması da gerekiyor. Hadley Merkezi'nin modeline göre küresel ısınma,





32. Meteoroloji Dairesi'nin zamana göre CO_2 yoğunluğu ve ortalama sıcaklık modeli.

küresel iklimin daha El Niño'ya benzeyen bir duruma kaymasına ve Güney Amerika'da kurak mevsimin çok daha uzun geçmesine neden olabilir. Kim Stanley Robinson *Forty Signs of Rain* adlı romanında yeni bir iklim durumunu tanımlamak için Hipernino terimini kullanıyor. Dolayısıyla, Amazon yağmur ormanı ayakta kalamayabilir ve yerini, günümüzde Amazon havzasının hem doğusunda hem güneyinde görülen savanlara (kurak çayırlar) bırakabilir. Bu yer değiştirmenin nedeni, kurak dönemlerin uzamasının yağmur ormanlarının geniş kesimlerini yok edecek orman yangınlarına yol açacak olmasıdır. Bu da yağmur ormanlarında depolanan karbonun atmosfere dönmesine yol açarak küresel ısınmayı hızlandırabilir. Bu durumda yanmış alanların yerini, uzun kurak mevsime uyum sağlamış olan savanlar alır, ama savanların karbon depolama potansiyeli yağmur ormanlarından çok daha düşüktür. Dolayısıyla, Amazon yağmur ormanları şu anda atmosfere saldığımız kirlilik miktarının azalmasına katkıda bulunuyor olabilir, ama sonunda küresel ısınmanın eşi görülmemiş ve şu anda öngörülemeyen bir düzeyde hızlanmasına da neden olabilir (Şekil 32). Ne var ki bu sonuca ihtiyatla yaklaşmamız gerekiyor. İlk olarak, Meteoroloji Dairesi Hadley Merkezi modeli atmosfer ve okyanus sistemlerini tümüyle birleştirmenin yanı sıra bitki örtüsünü de iklimle tümüyle birleştirmesi ve böylece iklimin bitki örtüsünü ve bitki örtüsünün de iklimi etkilediği bir model olması açısından eşsizdir. Çevrebilimciler farklı bitki örtüsü tiplerinin yerel çevreyi etkileyip değiştirdiğini uzun süredir bildiklerinden, iklim modellerinde ileriye doğru atılmış çok önemli bir adımdır bu. Bu durum, yağışın en azından % 50'sini geri

dönüştürerek sıcak, nemli bir çevre yaratan Amazon yağmur ormanları için özellikle geçerlidir. Şu anda sonuçları kıyaslayabileceğimiz başka bir GCM yok. Dolayısıyla bu olana dek tek bir modele çok fazla bel bağlayamayız, ama bu model, gelecekte bilimsel çabalarımızı hangi noktada yoğunlaştırmamız gerektiğini de açık bir biçimde gösteriyor. İkinci olarak, Meteoroloji Dairesi Hadley Merkezi'nin modeli dünyanın daha El Niño benzeri bir duruma doğru ilerlemekte olduğunu gösteren pek çok GCM'den biri; ama bu kayma, IPCC'nin gözden geçirdiği GCM'lerin hepsinde görülmüyor. Daha El Niño benzeri bir duruma doğru kayma yağmur ormanlarının geleceği üzerindeki en önemli belirleyici etmen olduğundan, kesinlikle güvenebilmemiz gereken bir nokta bu. Daha önce de tartışmış olduğumuz gibi, bilime duyulan güven kanıtların ağırlığına göre güçlenir ve şu anda dünyanın daha El Niño benzeri bir duruma, ya da Robinson'ın Hipernino'suna doğru ilerlediği yönünde yeterince ikna edici kanıt bulunmuyor. Üçüncü olarak, Hadley Merkezi Modeli'nde öngörülen, yerküre biyosferinden atmosfere salınan ek karbonun yaklaşık % 80'i, küresel ölçekte yeterince bilinmeyen bir süreç olan toprak ayrışmasındaki artıştan kaynaklanmaktadır. Yani başka GCM'lerde de bitki örtüsü modelleri birleştirilene kadar, bu tek tahmine tam olarak güvenemeyiz. Ama derler ya, gözünüzü üzerinden ayırmayın!

VIII. Bölüm

SİYASET

Küresel ısınma sorununa en mantıklı yaklaşım, salımları önemli düzeyde azaltmak gibi görünecektir. Bilim adamları küresel ısınmayı yalnızca bir derece düzeyiyle sınırlayabilmek için (% 60'a ulaşabilen) önemli düzeyde bir kesinti yapılması gerektiğini savunuyorlar. Ne var ki böyle bir kesintinin dünya ekonomisi üzerinde çok önemli etkileri olacaktır ve iklim değişikliğinin neden olabileceği hasara kıyasla salımları kısmanın maliyeti son derece tartışmalı bir konudur. UNFCCC (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi) 1992'de Rio Dünya Zirvesi'nde, sera gazlarının azaltılması ve küresel ısınmanın etkisinin sınırlandırılması için dünya çapında bir sözleşme üzerinde tartışılması amacıyla hazırlanmıştır. Son on yılda iki önemli adım atıldı. Bunlardan ilki 13 Aralık 1997 günü gece yarısında, sera gazı salımlarının azaltılması amaçlı dünya çapında bir anlaşma için genel kurallar belirleyen ve özellikle de tüm gelişmiş ülkelerin 2008-2012 döneminde salımlarını 1990 düzeylerinin üze-

rinden % 5,2 azaltmayı hedeflemelerinin belirtildiği Kyoto Protokolü'nün oluşturulmasıydı. Ancak bazı ülkeler 1990'dan bu yana salımlarını önemli düzeyde artırmayı sürdürdüler ve bu nedenle, bu kesintiyi gerçekleştirmekte büyük zorluk çekecekler. İkinci atılımsa 23 Temmuz 2001'de Bonn'da 186 ülkenin Kyoto Protokolü'nü onaylayıp imzalayarak hukuki bir antlaşmaya dönüştürmeleridir. Ama Başkan Bush liderliğindeki ABD Mart 2001'de iklim müzakerelerinden çekildi ve böylece, Bonn toplantısında Kyoto Protokolü'nü imzalamamış oldu. Dünyanın karbondioksit kirliliğinin yaklaşık dörtte birini ABD'nin ürettiği düşünülürse, antlaşma için büyük bir darbe bu. Üstelik, Japonya, Kanada ve Avustralya'nın katılımlarının sağlanması amacıyla Bonn toplantısında Kyoto Protokolü'nün hedefleri küçültülmüştü. 37 en zengin ve gelişmiş ülke için hedef, 1990 düzeylerine kıyasla % 1-3 düzeyinde bir kesinti olacak. Antlaşma azgelişmiş ülkeleri kapsamıyor. Bu da bir kaygı konusu, çünkü Hindistan ve Çin gibi ülkeler kalkınmalarının sürmesi durumunda çok büyük miktarlarda kirlilik üretecekler. Örneğin bu iki ülke aile başına düşen araba sayısında Avrupa'yla aynı düzeye gelme hedeflerine ulaşırsa, dünyada fazladan bir milyar araba daha olacak.

Kyoto Protokolü 16 Şubat 2005'te yürürlüğe girdi. Yürürlüğe ancak Rusya'nın antlaşmayı onaylaması ve böylece, küresel salımların % 55'inden fazlasını temsil eden en azından 55 ülke tarafından imzalanması şartının yerine getirilmesi sonucunda girebilecekti. Rusya'nın üyeliği dengeyi değiştirdi ve Kyoto Protokolü'nün ulusal bir yasa olabilmesini sağladı. Peki, 186 ülke neyi imzaladı? 38 sanayileşmiş ülke, sera gazı salımlarını azaltmak için bağlayıcı

hedefler benimsemeyi kabul etti. AB anlaşmayı tüm üye ülkeler için hemen yasalaştırmaya başlayacak ve 2010'a gelindiğinde sera gazı salımlarında 1990 düzeyi üzerinden % 8'lik kesinti yapılmasını dayatacak. Daha yoksul AB ülkelerine kalkınma için olanak bırakmak amacıyla Birleşik Krallık'ın kesinti düzeyi daha yüksek tutulacak ve yasal hedef % 12,5 olacak. Sanayileşmiş dünya gelişmekte olan ülkelerin iklim değişikliğine uyum sağlamalarına ve yeni, temiz teknolojiler geliştirilmesine yardım etmek amacıyla 500 milyon dolar (350 milyon pound) düzeyinde yeni fon ayıracak. Sanayileşmiş ülkelerin ağaç dikmeleri, mevcut ormanları korumaları ve tarım uygulamalarını değiştirerek atmosferdeki karbondioksiti azaltmaları karşılığında karbon kredisi almaları da mümkün olacak. Ayrıca, Kyoto Protokolü'nde ulusal ve uluslararası karbon salımı ticaretiyle ilgili hüküm de var. Şu anki durumda, salım hedefleri bulunan ülkeler kendi ulusal ekonomileri içinde ve birbirleriyle karbon salımı ticareti yapabilecekler. Salım hedefi bulunmayan ülkelerle uluslararası ticaret konusunda ise anlaşmaya varılamadı, çünkü AB ve uluslararası çevre STK'ları (Sivil Toplum Kuruluşları) buna daha en baştan karşı çıkarken, öteki sanayileşmiş uluslarla daha az gelişmiş dünya destek verdi. Kyoto Protokolü'nün daha da ileri götürülmesini ve sanayileşmiş ülkelerin daha az gelişmiş ülkelerden karbon kredisi alabilmelerine izin verilmesini isteyenler çok. Örneğin Brezilya'nın Amazonların bir bölgesinin yok olmasını engellemesi ya da yeniden ağaçlandırması karbon kredisi sayılabilir ve kendi salımlarında yapması gereken azaltma miktarını dengelemesi için sanayileşmiş bir ülkeye satılabilir.

Başlıca mücadeleciler

Aşağıda uluslararası iklim görüşmeleri konusunda bir Kim Kimdir kılavuzu bulacaksınız. İklim değişikliği müzakereleri sırasında oluşan bu farklı koalisyonlar, farklı ülkelerin farklı gündemleri hakkında daha fazla içgörü sahibi olabilmemizi sağlıyor. Ayrıca, hem bireysel olarak devletlerin hem de çevre, iş dünyası ve sanayi gruplarının çıkarları da söz konusu ve bunlar da aşağıda tartışılacak.

G 77 ve Çin

77'ler Grubu başlıca gelişmekte olan ülkeler koalisyonu ve 1964'te, BM Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTAD) altında yürütülen Yeni Uluslararası Ekonomik Düzen müzakereleri sırasında oluşturuldu. Çin sürekli olarak, şu anda 130'dan fazla üyesi olan bu grupla ittifak kuruyor. New York merkezli ve her yıl değişen Grup 77 Başkanlığı'nı üstlenen ülke, iklim değişikliği konusunda da G-77 Başkanlığı'nı üstleniyor. Kyoto Protokolü müzakerelerinin bazıları sırasında G-77'ye başkanlık eden ülkeler şöyleydi: Filipinler (1995), Kosta Rika (1996) ve Tanzanya Birleşik Cumhuriyeti (1997). Grup konsensüs ilkesine göre işliyor. Konsensüs oluşmadığında, yani bu grup içindeki tüm ülkelerin onayı olmadığında ortak bir konum dile getirilmiyor. Ne var ki G-77'nin kapsadığı çıkar gruplarının çeşitliliği dikkate alındığında, ortak bir konum benimsendiği durumlarda bile bireysel taraf ve gruplar

Kyoto Protokolü müzakerelerinde sık sık kendi adlarına konuşabiliyorlar. G-77 iklim değişikliğini aslında bir kalkınma meselesi olarak görmesi açısından Kuzey-Güney ayrımını sembolize ediyor. Bu grubun dile getirdiği başlıca iki mesele var: ilk olarak, salımı azaltmak zorunda kalmanın yoksul ülkelerin kalkınmasını engelleyeceği ve ikinci olarak, gelişmekte olan ülkelerin gelirlerinin artırılması için karbon ticaretine izin verilmesi.

AOSIS

Küçük Ada Devletleri İttifakı 1990'da, İkinci Dünya İklim Konferansı sırasında, deniz seviyesindeki yükselişe karşı özellikle savunmasız olan alçak ve küçük ada ülkelerinin çıkarlarının temsil edilmesi amacıyla kuruldu. Örgüt, çoğu aynı zamanda G-77'nin de üyesi olan yaklaşık 43 devleti içeriyor. Bu grup Protokol müzakereleri sırasında, her zaman olmasa bile sık sık Başkanlık (müzakerelerin büyük bölümü boyunca Samoa) aracılığıyla, düzenli olarak görüşlerini dile getirmiştir, ama bireysel olarak ülkelerin de müdahaleleri görülmüştür. Küresel ısınmanın etkileri en çok bu ülkeleri tehdit ettiğinden, AOSIS her zaman, küresel salımların katı bir denetim altına alınması konumunu benimsemiştir.

JUSSCANNZ

AB dışında kalan OECD (Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü) üyelerinden oluşan bu grup Kyoto müzakereleri sırasında koordinasyonlu bir konum

benimsemeden gevşek bir bilgi paylaşım koalisyonu işlevini gördü. Japonya, (sonradan müzakereleri terk eden) ABD, İsviçre, Kanada, Avustralya, Norveç ve Yeni Zelanda'yı içeren JUSSCANNZ adını bu ülkelerin İngilizce'deki adlarının baş harflerinden alıyor. İzlanda ve örneğin Meksika gibi başka OECD ülkeleri de grup toplantılarına sık sık katılmışlardır. JUSSCANNZ'ın genel kaygısı her zaman, iklim değişikliğiyle baş etmenin maliyeti oldu. Ama grup bölünmüş durumda. Japonya, Yeni Zelanda, Norveç ve İzlanda daha şimdiden yüksek bir enerji verimliliğinden ve/veya düşük karbon kaynaklarının ağırlıklı olduğu bir enerji karışımından faydalanabiliyor. Dolayısıyla GSYİH birimi ve kişi başına düşen sera gazı salımları OECD ortalamasından çok daha düşük ve bu nedenle başlıca kaygıları kesinti maliyeti. İkinci grubuysa GSYİH ve kişi başına düşen salımının yüksek olmasına yol açan görece düşük enerji verimliliği ve fosil yakıt ağırlıklı enerji bileşimleri, artan nüfusları ve geniş coğrafi alanlarıyla çok farklı ulusal şartlarla karşı karşıya olan Avustralya, Kanada ve ABD –Yeni Dünya ülkeleri– oluşturuyor. Bu ülkelerin en önemli kaygısı, enerji ağırlıklı altyapılarını değiştirmenin getireceği maliyet nedeniyle, iklim değişikliğini hafifletmenin yaratacağı maliyettir.

AB

Avrupa Birliği iklim değişikliği konusunda koordinasyonlu bir konum benimsemiş ve çoğunlukla, her altı ayda bir değişen Başkanlık üzerinden görüşlerini ifade etmiştir. Protokol müzakereleri sırasında AB'ye

şu ülkeler başkanlık etti: İspanya (1995 sonu), Fransa (1996 başı), İrlanda (1996 sonu), Hollanda (1997 başı) ve Lüksembourg (1997 sonu). Kyoto Protokolü müzakerelerinde AB devletleri çok ender bireysel olarak konuştular. Enerji veriminin hem yüksek hem de düşük olduğu ülkeleri içeren AB'nin üyeleri arasında JUSSCANNZ'a çok benzeyen bir bölünme gözleniyor. AB'nin konsensüs görüşü, çevre konusunda liderlik konumunu üstlenmek ve % 15 gibi yüksek kesintileri savunmak oldu. AB'nin mantığı, müzakere edilen herhangi bir kesinti oranının AB ülkeleri arasında kalkınma düzeylerine göre bölüştürülebileceği yönündeydi. Hem Britanya hem de Almanya'nın sera gazı salımlarında önemli bir azalma gerçekleştirmekte olmaları bu konumun benimsenmesini kolaylaştırmıştır. Britanya'da bu, kömürün yerine gazın getirilmesiyle yapıldı, Almanya'daki azalmaysa eski Doğu Almanya'nın verimsiz endüstrilerinin modernleştirilip temizlenmesiyle sağlandı. Ne var ki AB, kendi içindeki bölünmeler ve hantal uluslararası karar verme prosedürleri nedeniyle zorlu bir müzakere ortağıdır.

OPEC

Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü OPEC iklim değişikliği müzakereleri sırasında benimsediği konumları gayri resmi olarak koordine etmiş, ama asla birleşik bir grup olarak konuşmamıştır. Bu grubun temel konumu, başlıca ekonomik ihraç kalemleri olan petrolün korunması ve yüksek düzeyde fosil yakıt kullanımını sarsacak her antlaşmanın engellenmesi yönünde olmuştur.

Afrika Grubu

Afrika Grubu BM sistemi altında yer alan resmi bir bölgesel gruptur, ama müzakerelere ancak zaman zaman müdahale etmiştir. Bu grup içerisindeki ülkeler daha çok kendi adlarına ya da G-77'nin koordinasyon rolü aracılığıyla konuşmuşlardır. Afrika Grubu temelde, törensel beyan aracı olarak kullanılmıştır.

ENGO'lar

ENGO, Çevre Sivil Toplum Kuruluşları'nın kısaltmasıdır ve homojen bir grup olmamakla birlikte iklim değişikliği konusunda görece ortak bir görüş benimsemişlerdir. İklim değişikliği bilimini ve olası etkilerini hepsi kabul etmişler ve sorunun ele alınması için hükümetlerin ve iş dünyasının ciddi taahhütlerde bulunması için mücadele etmişlerdir. Ne var ki müzakerelerin belli konuları, özellikle de salım ticareti olasılığı konusunda ENGO'lar arasında önemli fikir ayrılıkları bulunmaktadır. Bu bölünme, yeni ve eski dünyalar arasındaki kültürel farkı yansıtması açısından değerlendirilebilir. Örneğin Amsterdam merkezli Greenpeace International salım ticaretine şiddetle karşı çıkarken, Yerküre'nin Brezilyalı Dostları bu ticareti şiddetle desteklemektedir.

BINGO'lar

İş ve Sanayi Sivil Toplum Kuruluşları (BINGO'lar) Kyoto Protokolü müzakerelerinin güçlü lobilerinden bir diğeriydi. Ne var ki ENGO'ların tersine bölünmüş ve gevşek bir gruplar ve başlıca üç alt grupları

bulunuyor. Tayfın daha ilerici ucunda "gündoğumu" yenilenebilir enerji sanayileri ve sigorta şirketleri gibi, iklim değişikliğini potansiyel bir iş fırsatı olarak gören ve hükümetleri kararlı adım atmaya çağıran "yeşil" işletmeler yer alıyordu. Ortada, iklim değişikliği bilimini kabul eden, ama hafifletilmesi konusunda basiretli, ihtiyatlı bir yaklaşım benimsenmesini isteyen bir grup bulunmaktaydı. Öteki uçtaysa Küresel İklim Koalisyonu gibi fosil yakıt temelli ve daha çok ABD merkezli sanayiler yer almaktaydı. Gri BINGO'lar ya da karbon kulübü olarak tanınan bu gruptakiler iklim değişikliği konusunda ancak en hafif eylemlerin benimsenmesini desteklediler ve çoğu ABD gazetesiyle İngiliz *Times*'ın başyazılarını ve başlıklarını yankılayarak (bkz. 2. Bölüm), ekonomik maliyetleri ve bilimsel belirsizlikleri vurguladılar. Bu BINGO'ların bazıları müzakerelere açıkça karşı çıktı. Aralarında en önde geleni, ABD'deki fosil yakıt ve enerji çıkar gruplarının paravanı olduğuna inanılan Washingtonlu bir hukuk firmasının ortaklarından Don Pearlman önderliğindeki ABD merkezli bir lobi grubu olan İklim Konseyi'ydi. Hem IPCC'de hem de iklim değişikliği müzakerelerinde ilerleme kaydedilmesini engellemek için OPEC ülkeleriyle işbirliği yaptılar.

Yukarıdaki kutucukta Kyoto Protokolü müzakerelerinin başlıca oyuncularından bazıları ana hatlarıyla özetlenmiştir. Bu grupların küresel ısınma ve iklim değişikliği konusundaki görüşlerini incelerken önemli olan nokta, bu oyuncuların her birinin küresel ısınma inanç çizelgesinin neresine yerleş-

tiklerini anlamaktır (bkz. Şekil 11 ve 3. Bölüm). Bütün bu farklı görüşlere karşın University Collge London'dan Joanna Depledge'ın bir çalışmasının Kyoto Protokolü müzakerelerinin yönetiminin görüşmelerin boyutuna ve hırslı hedeflerine rağmen iyi yönetilmiş olduğunu göstermesi ilginçtir. Depledge ayrıca, çok taraflı herhangi bir müzakerenin verimini artırmakta ve sürecin gelecekte daha da güçlenmesini sağlamakta kullanılabilecek bazı temel dersler sunuyor. Bunların arasında tüm müzakere süreci boyunca birliği ve sürekliliği koruyacak tek bir güçlü ve etkili başkanın ya da müzakere başkanlığının ve bir sekreterlik ekibinin bulunmasının önemi de yer alıyor. Prosedür tarafsızlığı/şeffaflığıyla verimliliği arasında bir denge kurulması gerekiyor, çünkü müzakere süreci her zaman ilerlemeyi sürdürmeli, ama aynı zamanda katılımcılar bunun adil bir süreç olduğunu hissetmeliler. Müzakereleri hızlandırmak ve tartışma eğiliminin atalete sürüklenmesini engellemek için pazarlık ve işbirliği teşvik edilmelidir. Prosedür yükümlülüklerinin üstesinden gelmek için de bazı stratejilere başvurulmalıdır, çünkü bunlar kimi zaman müzakereleri durdurma mekanizması olarak kullanılır. Depledge son olarak, gelecekte sürdürülecek müzakerelerin geçmişte neyin işe yaradığı ve neyin yaramadığı bilgisini içermesi için bir kurumsal belleğin geliştirilmesini tavsiye ediyor.

Kyoto Protokolü kusurlu mu?

Pek çoklarına göre Kyoto Protokolü'nün başlıca kusuru, yeterince ileri gitmemesidir. Kyoto Protokolü şu ana

dek, gelişmiş dünyanın yarıdan biraz fazla bir bölümü için 1990 düzeylerine kıyasla % 3-8 arasında bir salım kesintisini görüşmüş ve daha az gelişmiş dünyaya kısıtlama getirmemiştir; oysa bilim adamları önemli düzeyde bir iklim değişikliğinin önlenmesi için % 60'a varan küresel kesintiler önermişlerdir. Bu nedenle Kyoto Protokolü'nün küresel ısınmanın engellenmesinde hiçbir etkisinin olmayacağı ve her zamanki durumdan önemli bir farkı bulunmadığı öne sürülüyor; bu da elbette, gelişmiş ülkelerin pek çoğunun ekonomilerini korumak için tam da istedikleri şey.

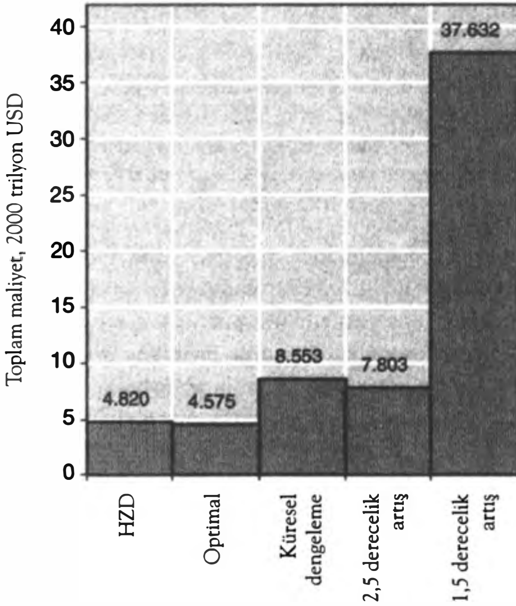
En verimli müzakerelerde bile süreçten çekilme konusunda bir şey yapılamaz. Bu nedenle Kyoto Protokolü'nün ikinci önemli kusuru, ABD'nin katılımcılar arasında yer almamasıdır. Ama ABD'nin bu iklim değişikliği müzakerelerinden çekilmesi hiç de şaşırtıcı değil: ABD'nin karbondioksit salımı 1990 düzeylerine kıyasla zaten % 12 yükselmişti ve 2012'ye gelindiğinde, 1990 düzeylerine göre % 30'dan daha fazla yükselmesi bekleniyordu. Bu nedenle ABD Kyoto Protokolü'nü onaylamayı kabul etmiş olsaydı salımlarını üçte birden fazla bir oranda azaltmak zorunda kalacaktı ve bu dönemde göreve gelen başkanlar bunu ABD ekonomisine ve kendi yeniden seçilme şanslarına karşı doğrudan bir tehdit olarak gördüler. Ama ABD'yle örneğin AB arasında daha derin bir bölünme de var. Pek çok yorumcu bu durumdan Atlantik-aşırı gedik olarak söz etmiştir. Tarihsel olarak Amerikalılar, hiçbir demokratik meşruiyet kaynağını anayasal ulus-devletten üstün görmeme eğiliminde olmuşlardır. Dolayısıyla herhangi bir uluslararası örgütün meşruiyet sahibi olmasının tek nedeni, demokratik çoğunluğun müzakere edilmiş bir

sözleşme süreci sonucunda bu meşruiyeti teslim etmesi olabilir. Sözleşme tarafları böyle bir meşruiyeti herhangi bir zamanda geri çekebilir. Avrupalılarsa aksine, demokratik meşruiyetin herhangi bir bireysel ulus-devletten daha üstün olan uluslararası toplumun iradesine dayandığına inanma eğilimindedirler. Bu uluslararası topluluk meşruiyeti, uluslararası topluluğun ideal ve ilkelerini kısmen içerdiği düşünülen mevcut uluslararası kurumlara devreder. 21. yüzyıl başına gelindiğinde ABD'yle öteki ulus-devletler arasındaki yaklaşım farkı iyice keskinleşmiştir. Bush idaresi Kyoto Protokolü müzakerelerinden çekilmekle kalmayıp, biyolojik çeşitlilik konusundaki Rio paktını onaylamadı, antibalistik füze antlaşmasından çekildi, kara mayınlarına getirilecek yasaklamaya karşı çıktı, biyolojik savaş konvansiyonunda yapılacak değişikliklere karşı çıktı, uluslararası bir ceza mahkemesi kurulmasına karşı çıktı ve ikinci Irak savaşına giden süreçte BM'yi saf dışı bıraktı. ABD'nin bu tek taraflılık modeli yalnızca Bush idaresini temsil eden geçici bir sorun olarak görülmemelidir; daha çok, ABD'yle Batı dünyasının geri kalan kısmı arasındaki temel ayrılığı temsil etmektedir. Bu görüşlerden birinin ya da diğerinin daha geçerli olduğu anlamına gelmiyor bu. Sorun, "gelecekteki iklim değişikliği"nin küresel bir mesele olması ve ulus-devletin sınırlarının ötesine taşan neden ve etkilerinin bulunmasıdır. 1980'lerdeki, çevre sorunlarının coğrafi kapsamının tüm dünyayı içerecek şekilde genişlediği devrim gibi, siyaset konusunda yeni bir "küresel" coğrafi siyaset görüşüne ihtiyaç var. Bu nedenle, çok taraflı çoklu ulus-/devlet yaklaşımı benimsenmedikçe, iklim değişikliği müzakereleri ve bununla bağlantılı dünya ticareti

görüşmeleri temelde kusurlu olacaktır. ABD ekonomik büyüklüğü nedeniyle her iki süreç için de büyük önem taşımaktadır. Şu anda ABD nüfusu 280 milyon, GSYİH'sı 7 trilyon dolardır; Avrupa'nın tamamınınsa nüfusu 375 milyon ve GSYİH'sı 10 trilyon dolardır.

İklim değişikliğinin maliyeti ve kalkınma meseleleri

Küresel ısınmayla başa çıkma konusunda yaşanan en önemli sorunlardan biri maliyet, ya da daha önemlisi, maliyet algısı sorunudur. Mcdya ya da çcvrccilcr bu sorunu çok ender ele alıyorlar, ama Kyoto Protokolü sonunda başarısızlığa uğrarsa temel nedeni bu olacaktır. Şekil 33'te beş farklı ekonomi senaryosunun 2000 yılında dünyaya getireceği maliyetin tahmini değeri ABD doları üzerinden verilmektedir. Her zamanki işler senaryosu, küresel ısınmanın yol açacağı hasarın değerini 4.8 trilyon dolar olarak gösteriyor – yani tüm Avrupa Birliği'nin GSYİH'nın yaklaşık yarısı. Bazı hafifletici siyasetler dahil edildiğinde bu maliyet en iyi durumda 4.6 trilyona indirilebilir. Ne var ki karbondioksit düzeyinin 1990'ların düzeyinde sabitlenmesi için gerekli adımlar atılırsa bunun dünyaya maliyeti yaklaşık iki kat olacaktır – 8,6 trilyon dolar, yani ABD'nin GSYİH'ndan 1,6 trilyon daha fazla bir tutar. 7,8 trilyon dolar harcayarak küresel sıcaklık yükselişinin 2,5^{0}C'yi geçmesini engellemek biraz daha ucuza mal olacak. Küresel sıcaklığın 1,5^{0}C'den daha fazla yükselmesini engellemek istersek bunun maliyeti 37 trilyon dolar gibi afallatıcı bir



33. Temel "her zamanki durum" senaryosu da dahil olmak üzere beş farklı maliyet senaryosu.

rakam. Astronomik maliyetler bunlar ve küresel ısınma meselesini ele alırken dünyanın mali açıdan neyi yapmayı göze alıp neyi alamayacağı konusunda gerçekçi olmalıyız. Bu senaryoların hepsinde iklim değişikliğinde GCM'lerin işaret ettiği sabit değişiklik varsayımı kabul ediliyor elbette ve yine elbette, ani iklim kaymaları olasılığı hiçbir şekilde dikkate alınmıyor. Bütün bu yüksek rakamlara bir de dünyanın ne kazanacağı üzerinden bakabiliriz. Kyoto'yu

yürürlüğe sokar ya da küresel ısınmanın etkilerini sabit tutmaya çalışırsak, dünyanın karşılaşacağı maliyet dünya GSYİH'nın % 2'sine dek yükselebilir. Şimdi, çok para mı bu? Yanıt, duruma nasıl baktığınıza bağlı, çünkü tüm dünyanın yıllık askeri harcamalarına denk bir rakam bu. Üstelik, önümüzdeki yüzyılda dünya ekonomisinin % 2-3 düzeyinde büyümesinin tahmin edildiği belirtilmiştir, yani küresel ısınmayla başa çıkma maliyeti büyüme eğrisini bir yıllığına durduracak. Bu da 2050'de yaşanacak refah için 2051'i beklemek gibi bir şey. Ve elbette, o döneme gelindiğinde ortalama bir dünya vatandaşı bugünkünün iki katı zenginlikte olacak. Yani bu şekilde baktığımızda, küresel ısınmayla başa çıkmanın dünya çapındaki maliyeti son derece makul görünüyor.

Küresel ısınmayı sınırlamanın maliyetini araştırırken dikkate alınması gereken ikinci nokta, bu paranın insan acılarını azaltmak için başka yerlere harcanabilecek olmasının yarattığı ahlaki ikilemdir. Örneğin şu andaki Kyoto Protokolü uygulamaya sokulursa yılda en az 150 milyar dolara mal olacak; oysa UNICEF'in tahminlerine göre yılda yalnızca 70-80 milyar dolarla tüm Üçüncü Dünya sakinlerinin sağlık, eğitim, su ve sağlık olanakları gibi temel gereksinimlerinin karşılanabilmesi mümkün. Bu nedenle küresel ısınma bazı önemli ahlaki sorunlarla karşı karşıya bırakıyor bizi. Bjørn Lomborg küresel ısınma için kullanılan kaynaklarla Üçüncü Dünya'ya yardım etmek arasındaki bu bağlantının çok daha derin olduğunu öne sürüyor, çünkü uyum gücü en düşük ülkeler onlar olduklarından, küresel ısınmanın etkilerinden en çok zarar gören de gelişmekte olan dünya olacak. Küresel ısınmayı hafiflettiğimiz-

de aslında Üçüncü Dünya'da yaşayacak gelecek kuşaklara yardım etmiş olacağız. Ama aynı parayı gelişmekte olan dünyaya doğrudan yardım etmekte kullanırsak, şu andaki sakinlerine ve dolayısıyla onların soylarından gelecek kişilere yardım etmiş oluruz. 2050'ye gelindiğinde ortalama dünya vatandaşının şu andakinden iki kat iyi durumda olacağını görmüş olduğumuza göre, gerçek bir ahlaki ikilemle karşı karşıya kalıyoruz: günümüzden yüz yıl sonrasının gelişmekte olan dünyasının hali vakti daha yerinde sakinlerine mi yardım etmeliyiz, yoksa şu andaki Üçüncü Dünya'nın yoksul sakinlerine mi? Bu konuda üzerinde durulması gereken koşul şu ki, Üçüncü Dünya'nın şu anda daha hızlı kalkınmasına yardım edersek, bu yardım küresel ısınmayı önemli düzeyde artırarak uzun vadede daha maliyetli olacak mı?

Salım ticareti

İklim değişikliği müzakerelerinin en tartışmalı konularından biri, uluslararası karbon ya da salım ticaretidir. Bu yöntem hem G-77'yle JUSSCANNZ'dan, hem de daha az gelişmiş dünyadan pek çok ENGO ve BINGO'lardan destek görmektedir. Pek çokları bu ticareti ABD'yi de içerecek bir antlaşmanın temel bir unsuru olarak görüyorlar. AB ve uluslararası ENGO'lar gibi kimi taraflarsa karbon ticaretini ahlaki açıdan yanlış buluyorlar. Dolayısıyla bu konuda uzlaşmaya varılamıyor.

Ne var ki Kyoto Protokolü'ne göre ulusal yönetimler üzerinde anlaşılan karbon salımı kesintileri üzerinden, he-

deflere uyulduğunu gösteren alınıp satılabilir sertifikalar çıkarabilecekler. Bu durumda, enerji üretimi alanında çalışan şirketler ya sera gazı salımlarını azaltmaya ya da fazladan permileri olan başka bir şirketten bu sertifikaları satın almaya karar verebilirler. Bu permiler ancak, şirket kesinti hedefini aştığında veriliyor. Bu ticaret senaryosu, karbon salımını azaltmanın en ucuz maliyetinin bulunmasını sağlıyor. Örneğin enerji/karbon açısından zaten verimli olan şirketlerin salımlarını sabit bir miktarda azaltmaları, daha verimsiz bir şirkete kıyasla çok pahalı olacaktır. Bu nedenle bu ticaret en düşük maliyetli seçeneği oluşturmakla kalmayıp, yenilikçi azaltma teknolojilerinin, yani düşük karbon salımlı teknolojilerin geliştirilmesini de teşvik ediyor. Bu yöntem, şirketlerin salınan karbon tonu başına sabit bir vergi ödeyecekleri karbon vergisi seçeneğiyle kıyaslanıyor; bu seçenek yalnızca üretim düzeylerinin ayarlanması için teşvik oluşturuyor ve bu da genellikle ne işletmelere yarar sağlıyor ne de topluma.

ABD'de salım ticareti daha şimdiden, asit yağmurlarının başlıca unsuru olan kükürt dioksit ve diazot monoksitin azaltılmasında çok önemli bir rol oynadı. Bu yol çok başarılı oldu. 1990 tarihli Temiz Hava Yasası elektrik tesislerinin bu kirletici madde salımlarını 1980 düzeylerine göre 8,5 milyon ton azaltmasını gerektiriyordu. 1989'da yapılan ilk tahminlere göre bunun maliyeti 7,4 milyar dolar olacaktı; 1998 tarihli, fiili uyumluluk verilerini temel alan bir rapora göreyse maliyet, 1 milyar doların altında kaldı.

Dünyanın yasal destekli ilk sera gazı pazarı, Nisan 2002'de açılmış olan Birleşik Krallık Salım Ticareti

Şeması'dır. Avrupa çapında bir ticaret şemasının 2005'te başlaması ve Avrupa'da en azından 5.000 şirketin salım kontrolüyle karşı karşıya kalması bekleniyor. Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın tahminine göre, Kyoto Protokolü'nün ilk uygunluk dönemi olan 2008-2012 döneminin sonuna gelindiğinde 2 trilyon doları aşan bir düzeyde ticaret yapılmış olacak. Bunun nedeni 2012'ye gelindiğinde ilk hedef kümesine ulaşmayı başaramayan ülkelerin eksik kalan kısmı bir sonraki taahhüt dönemine eklemek zorunda kalacak ve dolayısıyla % 30 düzeyinde ceza alacak olmaları. Ayrıca karbon ticaretinden ihraç edilecek ve yurtiçinde telafi önlemleri almak sorunda kalacaklar. Başlangıçta sanılanın aksine salım ticaretine katılmak maliyeti yükseltmedi ve bazı petrol şirketleri bu sayede rakiplerine karşı maliyet avantajı kazandıklarını gördüler.

Ama pek çok daha az gelişmiş ülkenin istediği karbon kredisi sisteminden hâlâ çok uzak bir yol bu. Karbon kredisi sisteminde sanayileşmiş ülkeler uluslararası piyasadan karbon kredisi satın alacaklar. Bu uluslararası karbon kredilerini herhangi bir ülke yeniden ağaçlandırma ya da tarım uygulamalarını değiştirme yoluyla 1990 düzeylerine kıyasla biyosferde daha fazla karbon depolanmasını sağlayarak, ya da daha önce de görmüş olduğumuz gibi az gelişmiş ülkelerde sık rastlanan verimsiz sanayilerde salımın azaltılması verimli sanayilere kıyasla maliyet açısından daha etkili olduğundan, sanayi salımlarını düşürerek üretebilecek. Az gelişmiş ülkeler salımlarını azaltırken para kazanmanın ve kalkınmayı hızlandırmanın temel yollarından biri olarak görüyorlar bunu. Kimilerine göreyse bu, ABD'nin sürece

yeniden katılmaya karar vermesi durumunda mali açıdan Kyoto Protokolü'ne uymayı göze alabilmesinin tek yolu.

Yerel inisiyatifler

Küresel ısınmayla ille de uluslararası düzeyde baş edilmesi gerekmiyor ve yerel düzeyde pek çok inisiyatif örneği bulunuyor. Bu nedenle ulusal yönetimlerin küresel bir anlaşma çıkarmaları uzun zaman alırken, yerel yönetimler ve bireyler son on yıldır kendi çözümlerini üretiyorlar. Bu çabaların pek çoğunun ardındaki itici güç, Haziran 1992'de Rio de Janeiro'daki Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda kabul edilmiş olan Gündem 21 belgesidir. Bu belge çevresel değişiklikler, kalkınma ve sürdürülebilirlik sorunlarına çözüm geliştirilmesinde hem yerel kurumların hem de bireylerin katılımını vurguluyor. Pek çok yerel otoritenin Gündem 21 belgesindeki temel meseleleri ele alan politikaları bulunmakta. Bunun örneklerinden birine ABD'deki New Hampshire'da rastlıyoruz: burada Vali Jeanne Shaheen yerel iş, yönetim ve çevre kesimlerinin eyalet içinde sera gazlarının azaltılması için çözüm bulmak üzere bir araya gelip beyin fırtınası yapmalarını sağladı. Karşılaşılan başlıca sorun, 1990 tarihli federal Temiz Hava Yasa Değişiklikleriyle birlikte, temizliğe zaten başlamış olan şirketlere daha kirli şirketlere kıyasla daha sert salım azaltma hedefleri verilmesi nedeniyle, gönüllü olarak hava kirliliğini azaltmış olan şirketlerin geçmişte cezalandırılmış olmasıydı. New Hampshire'da ilgili tarafların bir araya gelmesiyle eyaletin gönüllü olarak kesintiye gitmiş şirketleri

desteklemesine karar verildi ve bu da sera gazı salımlarında gerçekleştirilen tüm kesintilerin kaydedilmesi yoluyla yapıldı. Bu kolektif eylemin sonucu, 1999'da kabul edilen ve büyük yarar sağlayan eyalet yasasıydı; yasanın ilk etkilerinden biri, yerel hava kalitesinde önemli bir düzelme oldu. Bu yenilikçi çözümler Wisconsin ve Kaliforniya'da da fark edildi ve buralarda benzer yerel süreçler 2000 yılında tamamlandı. Üstelik, Wisconsin ABD'de eyalet çapında bir iklim önlemleri maliyeti araştırmasını tamamlayan ilk eyalet oldu. Hiçbir maliyeti bulunmayan, hatta tasarruf ettiren çözümlere (örneğin enerji verimliliği önlemleri) başvurularak eyalette 8.000'den fazla yeni iş olanağı yaratabileceklerini, neredeyse yarım milyar dolar düzeyinde tasarruf gerçekleştirebileceklerini, Wisconsin eyaletinin gayri safi hasılasını yükseltebileceklerini ve karbondioksit salımını 75 milyon tondan fazla bir düzeyde azaltabileceklerini gördüler.

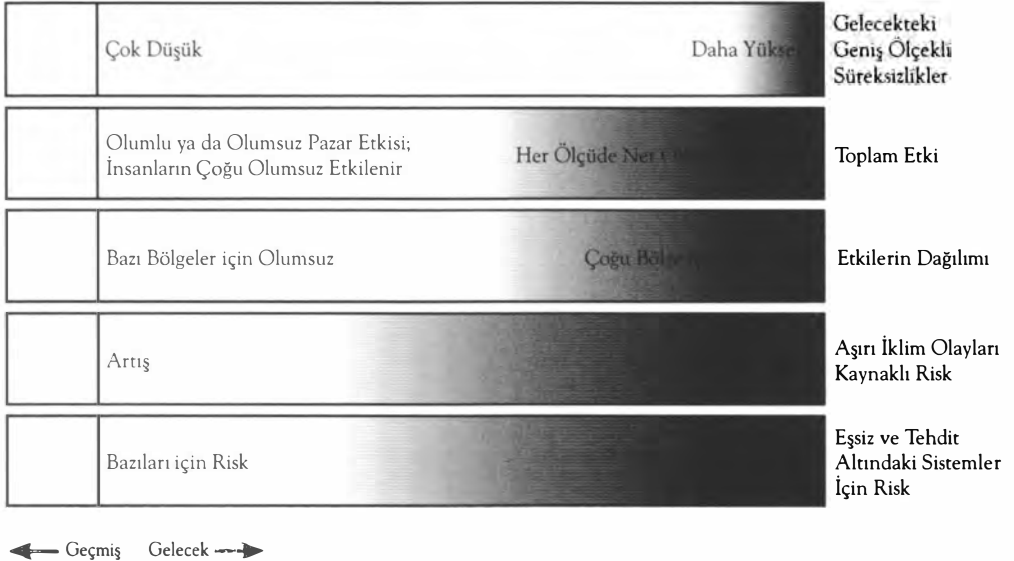
Küresel ısınmanın ele alınabileceği düzeylerden biri de ulus-devlet düzeyidir ve ülkelerin kendi fosil yakıt salımlarını azaltarak bireysel olarak önderliği üstlendikleri pek çok örnek bulunmaktadır. Parlak başarı örneklerinden biri İzlanda. Şu anda elektriğinin % 99'unu gayzerlerden ve hidroelektrik barajlarından elde ediyor. Ama enerji gereksiniminin % 35'ini karşılamak için 850.000 ton petrol ithal ediyor ve bu petrol temelde ulaşımda, balıkçılıkta ve metal üretiminde kullanılıyor. Bu da İzlanda'nın dünyada kişi başına düşen en yüksek karbon salımı oranlarından birine sahip olmasına yol açıyor. Ne var ki dünyanın ilk hidrojen ekonomisi olmaya ve önümüzdeki 30 yılda sera gazı salımını sıfıra indirmeye siyasi olarak kendilerini adadılar. Suyu

hidrojen ve oksijene ayırarak hidrojeni yakıt olarak kullanacak teknolojiyi geliştirmeyi ve böylece zararlı sera gazları üretmekten kaçınmayı amaçlıyorlar. Bu örnek, siyasi irade ve inanç sayesinde fosil yakıt ekonomisi saplantımız konusunda bir şeyler yapılabileceğini gösteriyor. Ama sızıntılar büyük tehlike yaratabildiğinden ve gazın yüksek basınç altında tutulması gerektiğinden, hidrojen ekonomisinin de önemli sorunlar getirdiği dikkate alınmalıdır. Üstelik, ilk başta hidrojeni çıkarmak üzere suyun ayrıştırılması için enerji gerekiyor ve bunun için fosil yakıtlara ihtiyaç var. Bu nedenle "hidrojen" ekonomisi, küresel ısınmaya küresel bir çözüm oluşturmuyor.

IX. Bölüm

ALTERNATİFLER NELERDİR?

Birkaç onyıl öncesine dek, geniş çaplı küresel ve bölgesel iklim değişikliklerinin yüzlerce ya da binlerce yıllık bir zaman ölçeği içerisinde kademeli olarak gerçekleştiği düşünülür ve bu nedenle, iklim kaymalarının bir insan ömrü içerisinde algılanamayacağı varsayılırdı. İklimin insan tarihi boyunca birdenbire değişme eğilimi göstermiş olması, geçmiş dönemlerdeki iklimlerle ilgili çalışmaların en şaşırtıcı sonuçlarından biri olmuştur. En şiddetli iklim değişikliklerinden bazılarının birkaç onyıl, hatta yalnızca birkaç yıl içinde yıllık ortalama sıcaklıklarda 5^{0}C düzeyine varan bölgesel değişiklikler içerdiği yönünde sağlam kanıtlar bulunmaktadır. Bu tür dönemlerde yaşayan insanların onyıl ölçekli bu geçişleri kendi ömürleri içerisinde fark etmeleri mümkündür. Yaklaşık 4.300 yıl önce bu kısa, soğuk, kurak dönemlerden birinin klasik uygarlıkları derinden etkilemiş olduğu bilinmektedir. Mısır'da Eski Krallık, Mezopotamya'da Akad İmparatorluğu, Anadolu, Yunanistan ve İsrail'de Erken Bronz Çağı toplumları, Hindistan'da



34. Küresel sıcaklıkların artmasıyla oluşan iklim değişikliği riskleri.

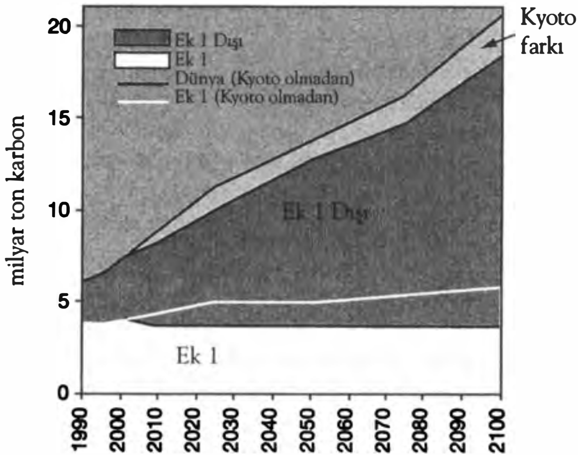
İndüs Vadisi uygarlığı, Afganistan'da Hilmend uygarlığı ve Çin'de Hongşan kültürü gibi pek çok uygarlık iklim değişikliklerine uyum sağlayamayarak çöktü. Ayrıca iklimdeki bozulmanın, özellikle de Orta Çağ Soğuk Dönemi sırasında Orta Amerika'da yaşanan bir dizi ağır kuraklığın Maya uygarlığının klasik döneminin çöküşünü başlattığı da anlaşılmıştır. Üstelik, İnkaların yükselişi ve düşüşü, Ekvator ve Peru'nun kıyı ve dağ kültürlerini kayıran, birbirini izleyen yağışlı ve kurak dönemlerle ilişkilendirilebilir. Ama insanların çok çeşitli iklimlerde hayatta kalabildiklerini de biliyoruz. Dolayısıyla, bu kent uygarlıklarının çöküşünün nedeni iklimin bir bölgeyi yaşanmaz hale getirmesi değildi; daha çok, söz konusu toplumlar iklim değişikliklerine, özellikle de su kaynaklarındaki değişikliklere uyum sağlayamamışlardı. Örneğin Maya uygarlığının ayakta kalabilmesi için uzun süreli su sıkıntısına karşı savunmasızlığının farkına varması ve daha esnek bir yaklaşım geliştirmesi, yani yeni su kaynakları bulması, suyu muhafaza etmek için yeni yollar geliştirmesi ve kıtlık dönemlerinde su kullanımını önceliklere bağlaması gerekirdi.

Kısacası iklim değişikliği bir toplum üzerinde harici bir baskı oluşturur, ama toplumun ayakta kalıp kalamayacağını kendi yapısı, özellikle de esneklik düzeyi belirler. Önemli bir derstir bu. Kanıtların ağırlığı küresel ısınmanın iklim değişikliğine yol açacağına işaret ettiğinden, küresel toplumumuzun ve ekonomimizin bu değişikliklerle başa çıkacak kadar esnek olmasını sağlamalıyız. IPCC'nin 2001 tarihli *Etkiler, Uyum ve Hassasiyet Raporu* toplum üzerindeki temel etkileri ve bu etkilerin hangi küresel sıcaklık artışı düzeyinde oluşabileceği konusunda son derece ya-

rarlı bir çizelge sunuyor (Şekil 34). Bu beş kaygı uyandırıcı nedenin 21. yüzyılda nasıl değişebileceğini göstermesi açısından, son derece değerli bir yönetim aracıdır bu. Uyum sağlama ve hafifletme maliyetini çeşitli bölgesel ve küresel etkilerle kıyaslarken bu risk ölçeğinden yararlanmamız doğru olacaktır.

Uyum ve hafifletme

Küresel ısınmanın yaratacağı etkilerin en kötülerini engelleme konusunda benimsenecek en mantıklı yaklaşım,



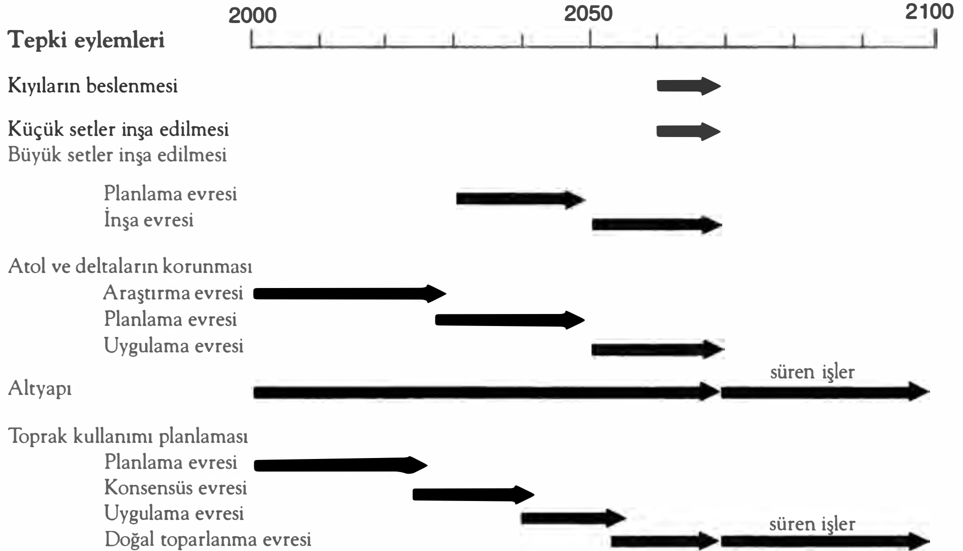
35. Kyoto'yla ya da Kyoto olmadığında beklenen küresel CO_2 salımları.

karbondioksit salımlarını azaltmak olacaktır. Bilim adamları küresel ısınmanın en kötü etkilerinden kaçınmak için % 60-80 arasında bir kesinti yapılması gerektiğine inanıyorlar. Ama fosil yakıt kullanımında önemli düzeyde bir kesintinin küresel ekonomiyi ciddi derecede etkileyeceğini ve Üçüncü Dünya'nın hızla kalkınmasını engelleyeceğini savunanlar da var. Temmuz 2001'de Bonn toplantısında Kyoto Protokolü'nün onaylanması, gelişmiş dünya için yalnızca % 1-3 arasında bir kesinti anlamına geliyor (Ek 1), gelişmekte olan dünyaysa (Ek harici 1) salımlarını artırmayı sürdürecek (bkz. Şekil 35). Bu nedenle IPCC'nin ikinci önemli amacı her ulusal çevrenin ve sosyoekonomik sistemin olası hassasiyetini, uyum gücünü ve savunmasızlığını inceleyip raporlamak, çünkü küresel ısınmanın ne gibi etkiler yaratabileceğini öngörebilirsek, ulusal yönetimler bu etkileri hafifletmek üzere harekete geçebilirler. Örneğin Britanya'da taşkınlar yaygınlaşacaksa, taşkın ovalarında ve savunmasız kıyılarda yapılaşmayı kısıtlayan yeni ve katı yasalar çıkarılarak can ve mal kaybının önüne geçilebilir.

IPCC'ye göre, iklim değişikliğine uyum sağlamamızı gerektiren altı neden bulunmaktadır: 1) İklim değişikliğinden kaçınılamaz; 2) önceden girişilen önleyici uyum, zorunlu son dakika acil durum çözümlerinden daha etkili ve daha düşük maliyetlidir; 3) iklim değişikliği şu andaki tahminlerin düşündürdüğünden daha hızlı ve şiddetli olabilir ve daha önce de görmüş olduğumuz gibi, beklenmedik olayların gerçekleşmesi son derece mümkün görünmektedir; 4) iklim değişkenliğine ve aşırı atmosfer olaylarına daha iyi uyum sağlanması sonucunda hemen şimdi kazançlar elde edilebilir: örneğin kasırga riski karşısında katı inşaat yasalarının ve

	Gerileme	Uyum	Koruma
Yapılar	Yapıların geriye alınması için yasa çıkartılması	Yapılaşmanın düzenleme altına alınması	Kıyılardaki yapıların korumaya alınması
Bataklıklar	Bataklık göçüne izin verilmesi	Korumayla gelişme arasında denge kurulması	Doldurma ve bitki dikimiyle bataklık/mangrov habitatı yaratılması
Ekinler	Tarım üretiminde yer değiştirmeye gidilmesi	Su tarımına geçilmesi	Tarım topraklarının korunması

36. Gelecekteki deniz seviyesi yükselişi için model tepki stratejileri.



37. İklim değişimiyle mücadele amaçlı tepki stratejileri için gerekli süreler.

daha iyi tahliye uygulamalarının yürürlüğe sokulması gerekecektir; 5) taşkın ovalarına ve savunmasız kıyı şeritlerine inşaat yapılması gibi hatalı politika ve uygulamaların ortadan kaldırılması sayesinde de hemen şimdi kazançlar elde edilebilir; 6) iklim değişikliği tehditlerin yanı sıra fırsatlar da getirir. İklim değişikliğinin gelecekte bazı yararları olabilir. IPCC iklim değişikliğine nasıl uyum sağlanabileceği konusunda pek çok fikir sunmuştur; Şekil 36'da verilen örnekte, ülkelerin deniz seviyesinde öngörülen yükselmeye nasıl uyum sağlayabilecekleri gösterilmektedir.

Küresel ısınmanın yarattığı başlıca tehdit, öngörülemez olmasıdır. İnsan çöllerden Kuzey Buz Denizi'ne dek neredeyse her tür aşırı iklimde yaşayabilmektedir, ama ancak aşırı hava şartlarının ne olacağını öngörebilmemiz durumunda. Bu nedenle küresel ısınma sorunuyla başa çıkmanın temel yolu uyum sağlamaktır, ama altyapı değişimlerinin tamamlanması 50 yıla kadar sürebileceğinden, bu işe hemen başlanması gerekmektedir. Örneğin daha iyi deniz barikatları inşa ederek ya da belli bir bölgede tarım alanlarını yeniden doğal bataklıklara dönüştürerek toprak kullanımını değiştirmek istiyorsanız, uygun değişimlerin araştırılması ve planlanması yirmi yıl sürebilir. Danışmanlık ve hukuk süreçlerinin tamamlanması bir on yıl daha alabilir; buna verilebilecek örneklerden biri, Londra'daki havaalanlarının genişletilmesi için bir strateji kabul edilmesinin ne kadar zaman almış olduğudur. Bu değişimlerin uygulanması bir on yıl daha alabilir ve doğal onarım sürecinin gerçekleşmesi de ertesi onyıl boyunca sürebilir (bkz. Şekil 37).

Öteki sorunsa uyum sağlamak için şu anda yatırım yapılmasının gerekmesidir; pek çok ülkenin bu kadar parası

yok, dünyanın başka yerlerindeyse insanlar, çoğu bugün için yaşadıklarından, kendilerini gelecekte korumak için daha fazla vergi ödemek istemiyorlar. Tartışılan uyarlanmaların tümü uzun vadede yerel alana, ülkeye ve dünyaya para tasarrufu sağlayacak elbette, ama toplumumuz hâlâ, birbirini izleyen hükümetler arasındaki birkaç yılla ölçülen, son derece kısa vadeli bir bakış açısına sahip.

Teknik çözümler; küresel ısınmayı tamir edebilir miyiz?

Küresel ısınmayla nasıl başa çıkabiliriz? Devletlerin karbondioksit salımını azaltmak için yavaş yavaş harekete geçmeye başladıklarını gördük; ne var ki, bunun ne kadara mal olacağı konusu kaygı uyandırıyor. Dolayısıyla, küresel ısınma sorununun çözümü için "alternatiflere" ya da "teknik çözümlere" büyük ilgi gösteriliyor. Başlıca dört teknik çözüm alanı bulunuyor:

1. Sanayi süreçlerinin karbondioksitten arındırılması atmosferdeki karbondioksit düzeyinin düşmesine önemli derecede katkıda bulunabilir; ancak bu yöntemlerin sürdürülebilir kalkınma kavramları içerisinde performanslarının ve uygulamalarının geliştirilmesi için daha fazla araştırma ve geliştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır.

2. Daha az enerji kullanabilir ve böylece daha az karbondioksit üretebiliriz. Önümüzdeki otuz yıl içinde enerji veriminin ortalama % 50 azaltılması mümkün, ama bunun

için daha yüksek bir enerji ya da karbon vergisi getirilmesi gibi sert siyasi önlemlere ihtiyaç var. Örneğin gaz türbini ve yakıt pili alanlarında ileri teknolojilerin kullanılmasıyla enerji üretiminde verimlilik % 60 artırılabilir.

3. Yenilenebilir/alternatif enerji kaynakları, yani net olarak bakıldığında atmosferde karbondioksit yaratmayan kaynaklar bulunmaktadır. Bunların arasında kısa vadede en umut vaat edeni, 2020'ye gelindiğinde küresel enerjinin üçte birini üretebilecek olan biyokütledir. Biyokütle büyürken atmosferden karbondioksit soğurur ve bu karbondioksit ancak yakıt olarak yakıldığında geri döner; dolayısıyla, atmosferdeki karbondioksitte net bir artış oluşmaz. Uzun vadede en çok ümit verense güneş enerjisidir; özellikle de güneş ışığının garantisinin olmadığı Birleşik Krallık gibi ülkelerdeyse rüzgâr enerjisinin mükemmel bir ara çözüm olabileceği düşünülmektedir. Pek çok ülke de karbon salımı yaratmayan enerji kaynağı olarak nükleer programlarını yenilemeyi tartışmaktadır, ama güvenlik ve nükleer atık konuları hâlâ sorun yaratmaktadır. Alternatif enerji artık yalnızca çevre STK'larına havale edilmiş bir konu değil; Exxon/Mobil'in (Avrupa'da Esso) başını çektiği bazı Amerikan petrol şirketleri istisnası hariç, küresel iş topluluğunun geriye kalan kısmının çoğu farklı enerji kaynakları gereksinimine hızla tepki veriyor. Son beş yılda Ford gibi şirketlerle BP ve Shell gibi petrol şirketleri yeni teknolojilerin araştırılmasına milyarlarca dolar akıtmaya başladılar. Rüzgâr enerjisi artık ana eğilim oldu, güneş enerjisi hızla gelişiyor, hibrid arabalarsa yollara döküldü bile. Yakıt pilleriyle, hidrojenle ve sıkış-

tırılmış havayla çalışan arabalar artık bir hayalden ibaret değil.

4. Ya yeni ormanlar dikerek ya da okyanusları daha fazla karbon soğurmaya yönelterek atmosferdeki karbondioksitin azaltılması mümkün. Bu düşünce aşağıda, demir hipotezi bölümünde daha ayrıntılı olarak tartışılacak.

Bunların hepsi mantıklı teknolojiler ve küresel ısınmaya karşı verilecek savaşta bileşimler halinde kullanılabilir, ama hepsinin bazı sakıncaları da var. Sanayi süreçlerinin karbondioksitten arındırılması zor ve maliyetlidir, çünkü karbondioksitin yalnızca çıkarılmasının ötesinde başka bir yerde depolanması da gerekir. Arındırma ve depolama maliyetleri karbondioksit tonu başına 20-50 dolar arasında olabilecektir. Bu da enerji üretim maliyetlerinde % 35 ila % 100 arasında bir artışa neden olacaktır. Ancak elde edilen karbondioksitin tamamının depolanmasına gerek yok; bir kısmını ileri petrol çıkarma işlemlerinde, gıda sanayisinde, kimyasal imalatta (soda, üre ve metil alkol üretiminde) ve metal işleme sanayilerinde kullanabiliriz. Karbondioksit aynı zamanda inşaat malzemesi, çözücü, temizlik bileşimleri ve ambalaj üretiminde ve atık su arıtımında kullanılabilir. Ama aslında sanayi süreçlerinden elde edilen karbondioksitin çoğunun depolanması gerekecektir. Dünyanın toplam petrol ve gaz rezervlerinin yakılmasından elde edilecek karbondioksitin kuramsal olarak üçte ikisinin duruma uygun rezervuarlarda depolanabileceği hesaplanmıştır. Başka tahminlerse yalnızca doğal gaz rezervlerinde 90-400 GtC ve suverenlerde de 90GtC depolanmasına işaret ediyor. Karbondioksitin ortadan kaldırılmasında okyanuslardan da yararlanılabilir.

Öneriler arasında hidrat atığı yoluyla depolama da var; yani yüksek basınç ve düşük sıcaklık altında karbondioksitle suyu karıştırırsanız, çevresindeki sudan daha ağır olan ve bu nedenle dibe çöken bir katı madde ya da hidrat yaratırsınız. Bu hidrat, 7. Bölüm'de bahsedilen metan hidratlarına çok benzer.

Bütün bu depolama yöntemlerinde başlıca sorun, güvenliktir. Karbondioksit havadan daha ağır olduğundan ve boğulmaya yol açtığından çok tehlikeli bir gazdır. Bunun önemli bir örneği 1986'da, Kamerun'un batısındaki Nyos Gölü'nde oluşan bir karbondioksit patlamasının 25 kilometreye kadar bir uzaklıkta 1,700'den fazla insanı ve çiftlik hayvanını öldürmesiyle yaşandı. Daha önce de benzeri felaketlerin yaşanmış olmasına karşın, kısa süreli tek bir olay sırasında bu kadar çok insan ve hayvanın boğularak öldüğü daha önce hiç görülmemişti. Yakınlardaki yanardağ kaynaklı çözülmüş karbondioksitin su kaynakları yoluyla gölün altına sızdığı ve üzerindeki suyun ağırlığı nedeniyle derin sularda sıkışıp kaldığı tahmin ediliyor. 1986'da yaşanan bir çığ göl sularını karıştırdı ve sonuçta tüm gölün altüst olmasıyla birlikte, sıkışmış karbondioksitin tamamı tek seferde serbest kaldı; bu da karbondioksitin depolanmasının son derece güç ve belki de ölümcül olduğunu gösteriyor. Okyanus depolamasında okyanusun dolaşımı ek bir sorun yaratıyor, bu nedenle nasıl bir karbondioksit atarsanız atın, bir kısmı önünde sonunda geri gelecektir. Üstelik bilim adamları bunun okyanus ekosistemlerini nasıl etkileyeceğini hiç bilemiyorlar. Dolayısıyla, emniyetle depolanabilecek karbondioksit miktarı konusunda şu anda elimizde hiçbir tahmin bulunmuyor.

Sonuçta küresel ısınmanın çözümü, enerji veriminin artırılması ve alternatif enerjilere geçilmesi olacaktır. Güvenlik ve çevre açılarından bakıldığında, karbondioksitin yeraltına ve/veya okyanusa depolanması kısa vadede her ne kadar yararlı olursa olsun, aslında mümkün değildir.

Demir hipotezi

Daha önce de görmüş olduğumuz gibi, siyasetçiler bu konudan söz etmekten hoşlanmasalar da, küresel ısınma siyaset gündeminden hiç inmiyor. Ancak sorun, karbondioksit salımlarını azaltmanın çok yüksek bir ekonomik maliyetinin bulunmasıdır. Bu nedenle bilim adamları ve siyasetçiler sürekli olarak, küresel ısınma için hızlı bir çözüm ya da "teknolojik çözüm" peşinde koşuyorlar. Müteveffa Profesör John Martin, şu ana dek duyulmuş en tartışmalı fikirlerden birini öne sürmüştü. Martin'e göre okyanusların pek çoğu yeterince verimli olamıyordu. Bunun nedeni, en önemlisi yüzey sularında bitkilerin büyümesini sağlayan demir olan yaşamsal besinlerin eksikliğidir. Deniz bitkilerinin düşük miktarlarda demire ihtiyaçları vardır ve bu olmadığında büyüyemezler. Okyanusların çoğuna yeterli miktarda demir taşıyan toz karadan esintiyle gelir, ama görünüşe bakılırsa Pasifik ve Güney Okyanuslarının büyük bölümü fazla toz almamaktadır ve bu nedenle demirden yoksundur. Dolayısıyla, okyanusu demirle besleyebileceğimiz öne sürülmüştür. Bu yöntem deniz verimliliğini artıracaktır. Fazladan gerçekleşen fotosentez yüzey sularındaki daha fazla karbondioksiti organik maddeye dönüştürecektir. Organizmalar öldüğünde

organik madde okyanus dibine çöker ve beraberinde fazla karbonu da götürerek depolar. Yüzey suyundaki karbondioksit azalması atmosferden gelen karbondioksitle telafi edilir. Kısacası, dünya okyanuslarının demirle beslenmesi atmosferdeki karbondioksitin alınıp derin deniz tortullarında depolanmasına yardımcı olabilir. Denizde yapılan deneyler çok yüksek miktarlarda demire ihtiyaç olduğunu gösterdi ve bu fazladan demiri eklemeyi kestiğiniz anda depolanan karbondioksitin büyük bölümü serbest kalıyor. Bu demir hipotezinin daha karanlık bir yönü de var. Görünüşe bakılırsa sanayileşme ve tüm dünyada kara kullanımında yaşanan değişimler nedeniyle atmosferde 200 yıl öncesine göre yaklaşık % 150 daha fazla toz bulunuyor. Bu fazladan toz okyanusların atmosferdeki karbondioksiti emme kapasitclcrini artırdı. Yani atmosferin kirli olması kelimenin tam anlamıyla, küresel ısınma konusunda bize yardımcı oluyor. Ne var ki Kyoto Protokolü ülkeleri atmosferden karbondioksit çekmek için toprak erozyonunu önlemeye ve ormanları genişletmeye teşvik ediyor. Bu da sonunda toz miktarında azalmaya neden olacak. İngiliz Kolumbiyası (Kanada) Üniversitesi'nden Doktor Andrew Ridgwell'in ve benim hesaplamalarımız, Kyoto Protokolü'ne göre karalarda depolanan fazladan karbondioksitin önemli bir bölümünün atmosfere geri dönebileceğine işaret ediyor, çünkü genel toz miktarındaki azalma okyanuslardaki demiri ve dolayısıyla okyanusların verimliliğini azaltmaya başlayacak. Yüzlerce yıllık bir zaman ölçeği içerisinde bakıldığında, okyanusun atmosferdeki karbondioksiti emme kapasitesinin azalması, tüm bu yeni ormanları dikmenin getirdiği kısa vadeli kazançları silip süpürecek.

X. Bölüm

SONUÇ

Küresel ısınma, bizi modern toplumun tüm temelini incelemeye yönelten birkaç bilimsel kuramdan biridir. Siyasetçileri tartıştıran, ülkeleri birbirine düşüren, bireysel yaşam tarzı seçimlerini sorgulatan ve en sonunda insanlığın gezegenin geri kalan kısmıyla ilişkisi konusunda sorular sorduran bir kuramdır. Önümüzdeki yüzyılda küresel ısınmanın iklimimizi değiştireceği konusunda pek az kuşku bulunuyor; en iyi tahminlerimize göre ortalama sıcaklıkta 1,4-5,8^{0}C, deniz seviyesinde bir metre düzeyinde yükselişler olacak, hava durumu modellerinde önemli değişiklikler görülecek ve daha aşırı iklim olaylarıyla karşı karşıya kalacağız. 1980'lerin sonlarında ve 1990'ların başlarında pek çok çevrecinin sandığı gibi dünyanın sonu değil bu, ama küresel toplumumuzu bazı önemli mücadelelerle karşı karşıya bırakıyor ve bunların arasında en önemlisi, küresel ısınmanın doğurduğu ahlaki ikilemler. İlk olarak, bir taraftan karbondioksit ve öteki sera gazlarının üretiminde geniş çaplı bir artışı engellerken, Üçüncü Dünya'nın mümkün olduğunca hızlı kalkınmasını nasıl sağlayacağız? İkinci

olarak, küresel ısınmayı dengeleyip gelecek kuşakları korumak için harcamayı planladığımız paranın, yani 8 trilyon doların ya da Dünya GSYİH'nın % 2'sinin şu andaki küresel insan acılarının hafifletilmesine harcanması daha mı iyi olacak? Sonuçta, dünya ekonomisinin öngörüldüğü gibi önümüzdeki yüzyıl boyunca yılda %2-3 oranında büyümeyi sürdürmesini sağlayabilirsek, Dünya GSYİH'nın % 2'si son derece düşük bir maliyet. Yani küresel ısınma sonuçta bir ahlak ve küresel ekonomi meselesi.

Öyleyse, küresel ısınmanın çözümleri nelerdir? Daha önce de görmüş olduğumuz gibi, küresel ısınma sorununun küresel siyasetle çözülmesi mümkün görünmüyor. Teknik çözümler ya tehlikeli ya da çözmeyi amaçladıkları sorunlar kadar ağır sorunlara yol açıyorlar. Dünyada Batı dünyasının tadını çıkardığı enerji kullanımına ulaşmayı amaçlayan beş buçuk milyar insan daha varken, enerjiyi daha verimli kullanma fikri bile yersiz görünüyor. Yani, tüm ekonomik kalkınma giderek artan bir enerji kullanımına dayandığına göre, nihai çözüm, insanlığın ucuz ve temiz enerji üretimini geliştirmesi olacaktır. Alternatif enerji alanında büyük adımlar atılmış olmasına karşın, bunların önümüzdeki onyıllarda ihtiyaç duyacağımız ölçekte enerji üretmesi mümkün görünmüyor. İnsanın uyum gücüne tüm kalbimle inandığımdan, yüzyıl sonuna gelmeden bu enerjilerin mevcut olacağına eminim. Ama yüzyıl sonuna gelindiğinde yenilenebilir enerjiye geçmek için önemli bir miktarda yatırım yapılması gerekiyor; örneğin ABD'nin şu andaki yenilenebilir enerji yatırımı yılda yalnızca 200 milyon dolar. Yenilenebilir enerji teknolojisi gelişse bile, hayat kurtaracak ilaçların maliyetlerinin bile maksimum kâr elde edecek şekilde hesaplandığı

bir dünyada yaşadığımızdan, tüm ulusların mali güçlerinin bu teknolojilere erişmeye yeteceğinin hiçbir garantisi bulunmuyor. Sınırsız bedava enerjimiz olsa bile, bunun gezegeni sömürmeyi sürdürmemizi engelleyeceğinin de garantisi yok. Stanford Üniversitesi'nden Paul Ehrlich soğuk füzyon yoluyla sınırsız temiz enerji elde edilmesi olasılığı konusunda yorumda bulunurken, bunun "aptal bir çocuğa makineli tüfek vermeye" benzeyeceğini söylemişti.

Tüm umutlarımızı temiz enerji teknolojilerine ya da bunları akıllıca kullanma yeteneğimize bağlayamayız; bu nedenle, en kötü senaryoya hazırlanıp uyum sağlamalıyız. Şu anda uygulamaya sokulması durumunda, iklim değişikliğinin yol açacağı maliyet ve hasar büyük oranda hafifletilebilir. Bu da ülkelerin ve bölgelerin önümüzdeki 50 yılı içerecek planlar yapmasını gerektiriyor; siyasetin çok kısa vadeli olması nedeniyle çoğu toplumun yapamadığı bir şey bu. Bu nedenle küresel ısınma, toplumumuzu örgütleme biçimimize meydan okuyor. Ulus-devlete karşı küresel sorumluluk kavramlarını gündeme getirmekle kalmıyor, siyasi liderlerimizin kısa vadeli bakış açılarını da sorguluyor. Küresel ısınma konusunda ne yapabileceğimiz sorusunu yanıtlamak için toplumumuzun bazı temel kurallarını değiştirerek, daha küresel ve uzun vadeli bir yaklaşım benimsemek zorundayız.

Columbia Üniversitesi'nden (ABD) Profesör Wally Broecker'ın mükemmel sözcükleriyle birlikte, küresel topluluğumuzu yeniden tasarlama düşünceleriyle baş başa bırakacağım sizleri:

> "İklim huysuz bir canavardır, biz de tutmuş onu sopayla dürtüyoruz."



38. Küresel ısınma her yönüyle kötü müdür?

KÜRESEL ISINMA

MARK MASLIN

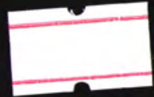
Türkçesi: SİNEM GÜL

ÇAĞIN ÜZERİNDE EN ÇOK TARTIŞILAN KAVRAMLARINDAN BİRİNİ ODAĞINA ALAN BU ÇALIŞMA, KÜRESEL ISINMANIN ÖNGÖRÜLEBİLİR ETKİLERİ KADAR, YAKIN BİR GELECEKTE İNSANLIĞI BEKLEYEN HESABA KATILMADIK SONUÇLAR KONUSUNDA DA ÖZENLİ BİR ÇÖZÜMLEME SUNUYOR. ULUSLARARASI KURULUŞLARIN YAYIMLADIĞI RAPORLAR, ÇEVRE ÖRGÜTLERİNİN TİTİZ İNCELEMELERİ, BAĞIMSIZ ÇALIŞMA KOLEKTİFLERİNİN TOPLADIĞI VERİLER BİR BÜTÜN İÇİNDE İNCELENİYOR. DA ASI, BİR "KÜRESEL ISINMA SİYASETİ"NİN GEREKLİLİĞİNE VURGU YAPARAK, BU ORTAK SORUMLULUKTAN KAÇMANIN MUHTEMEL SONUÇLARINI AÇIKLIKLA GÖZLER ÖNÜNE SERİYOR.

Kültür Kitaplığı: 104; Bilim: 4







D